

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Aleš Kytnar**  
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb  
Téma: **Železobetonová konstrukce haly a administrativní budovy obchodní společnosti**  
**Reinforced concrete structure of hall and administrative building of trade company**

### Zásady pro vypracování:

V rámci závěrečné práce bude navržen objekt a dispozice administrativní budovy výrobní firmy, na kterou navazuje prefabrikovaná železobetonová hala s pultovými vazníky.

V rámci práce bude zpracován statický výpočet monolitické železobetonové rámové konstrukce. Posouzení bude provedeno pro mezní stav únosnosti i použitelnosti. Budou navrženy základové konstrukce. Budou navrženy detaily rozmístění výztuže v rámových rozích.

Dále bude navržena a posouzena prefabrikovaná konstrukce haly s pultovými vazníky a jeřábovou dráhou.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN EN1991-1-1: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha 2004
- [2] ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí- část 1-1 Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČNI, 2006.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Pavlína Matečková, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2013

Datum odevzdání: 02.12.2013

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Darja Kubečková, Ph.D.  
děkanka fakulty

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Železobetonová konstrukce haly a administrativní budovy obchodní  
společnosti

Reinforced concrete structure of hall and administrative building of  
trade company

Student:

Bc. Aleš Kytnar

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Pavlína Matečková, Ph.D.

Ostrava 2013

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 2.12.2013

.....

podpis studenta

### **Prohlašuji, že**

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 2.12.2013

### **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval paní Ing. Pavlíně Matečkové Ph.D. za odborné vedení, cenné připomínky a rady, kterými přispěla k vypracování této diplomové práce. Dále děkuji panu Ing. Vítu Křivému Ph.D. za poskytnuté podklady a konzultace.

### **Anotace**

Předmětem diplomové práce je návrh nosné konstrukce administrativní budovy z monolitického betonu a přilehlé montované železobetonové haly. Cílem práce je staticky posoudit hlavní nosné prvky obou objektů dle mezního stavu únosnosti i použitelnosti, při dodržení konstrukčních zásad.

V rámci řešení diplomové práce budou zpracovány stavební výkresy a výkresy výztuže.

### **Anotation**

The subject of this thesis is to design the structure of the administrative building of monolithic concrete and prefabricated concrete adjacent hall. The aim is to design and assess structural elements for the ultimate limit state and service ability limit, with respect to all design principles.

Within the thesis were prepared construction drawings and drawings of reinforcement.

## Obsah diplomové práce

1.	Úvod .....	1
1.1	Náplň diplomové práce .....	1
2.	Technická zpráva .....	2
2.1	Popis objektů .....	2
2.2	Nosná konstrukce .....	2
2.3	Založení objektu .....	2
2.4	Ostatní konstrukce .....	3
2.5	Doplňkové údaje .....	3
3.	Administrativní budova .....	4
3.1	Zatížení .....	4
3.1.1	Zatížení stálé .....	4
3.1.2	Zatížení užitné .....	6
3.1.3	Zatížení sněhem .....	7
3.1.4	Zatížení větrem .....	7
3.1.5	Zatěžovací stavy .....	11
3.1.6	Kombinace zatížení .....	25
3.2	Statické posouzení .....	29
3.2.1	Schodiště .....	31
3.2.2	Průvlak .....	39
3.2.3	Sloup .....	47
3.2.4	Základová patka .....	53
3.2.5	Založení objektu .....	59
4.	Hala .....	63
4.1	Zatížení .....	63
4.1.1	Zatížení stálé .....	63
4.1.2	Zatížení užitné .....	63

4.1.3	Zatížení sněhem .....	64
4.1.4	Zatížení větrem .....	65
4.1.5	Jeřábová dráha .....	68
4.1.6	Zatěžovací stavy .....	74
4.1.7	Kombinace zatížení .....	79
4.2	Statické posouzení .....	81
4.2.1	Nosník jeřábové dráhy .....	82
4.2.2	Průvlak .....	87
4.2.3	Konzola .....	95
4.2.4	Sloup .....	98
4.2.5	Základová patka .....	103
4.2.6	Založení objektu .....	109
5.	Závěr .....	113
6.	Seznam použité literatury .....	114
7.	Seznam příloh a výkresů .....	116



## Seznam použitého značení

$E_{cm}$	modul pružnosti betonu [GPa]
$E_s$	modul pružnosti oceli [GPa]
$M_{Ed}$	návrhová hodnota ohybového momentu [kNm]
$N_{Ed}$	návrhová hodnota normálové síly [kN]
$V_{Ed}$	návrhová hodnota posouvající síly [kN]
$b$	šířka prvku [m]
$c_{nom}$	jmenovitá hodnota tloušťky betonové krycí vrstvy [mm]
$f_{ck}$	charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku [MPa]
$f_{cd}$	návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku [MPa]
$f_{ctk;0,05}$	návrhová hodnota pevnosti betonu v tahu, dolní kvantil [MPa]
$f_{ctm}$	střední návrhová hodnota pevnosti betonu v tahu [MPa]
$f_{yk}$	charakteristická hodnota pevnosti oceli v tahu na mezi kluzu [MPa]
$f_{yd}$	návrhová hodnota pevnosti oceli v tahu na mezi kluzu [MPa]
$h$	výška prvku [m]
$g_k$	charakteristická hodnota stálého zatížení [kN/m <sup>2</sup> ; kN/m]
$g_d$	návrhová hodnota stálého zatížení [kN/m <sup>2</sup> ; kN/m]
$q_k$	charakteristická hodnota nahodilého zatížení [kN/m <sup>2</sup> ; kN/m]
$q_d$	návrhová hodnota nahodilého zatížení [kN/m <sup>2</sup> ; kN/m]
$l$	délka prvku [m]
$\gamma_c$	součinitel spolehlivosti betonu [-]
$\gamma_g$	dílčí součinitel stálého zatížení [-]
$\gamma_q$	dílčí součinitel nahodilého zatížení [-]
$\gamma_s$	součinitel spolehlivosti oceli [-]

## Seznam použitých programů

Autodesk Architectural Desktop 2007

Microsoft Office Excel 2007

Microsoft Office Word 2007

SciaEngineer 2012.0

## **1. Úvod**

### **1.1 Náplň diplomové práce**

Cílem diplomové práce je návrh objektů s nosnou konstrukcí z železobetonu. Navrhovanými objekty jsou administrativní budova výrobní firmy, na kterou navazuje prefabrikovaná železobetonová hala.

Před samotným návrhem nosných konstrukcí, je nutné navrhnout dispozici objektů, určit zatížení a z nich vyvodit vnitřní síly. Na rozhodující vnitřní síly jsou dimenzovány hlavní nosné prvky konstrukcí, z hlediska mezního stavu únosnosti i použitelnosti. Je nezbytné, aby návrh splňoval konstrukční zásady návrhu železobetonových konstrukcí a bral zřetel na rozmístění výztuže v rámových rozích.

Tento návrh je doplněn o stavební výkresy a výkresy výztuže navržených prvků.

## **2. Technická zpráva**

### **2.1 Popis objektů**

Administrativní budova je objekt o třech nadzemních podlažích s půdorysem tvaru písmene „L“ a plochou střešní konstrukcí. Půdorysné rozměry jsou 30,6 x 22,1m. Konstrukční výška jednotlivých podlaží je 3,6m, celková výška objektu je 11,7m.

Přilehlá hala je jednopodlažní, obdélníkového půdorysu s pultovou střechou. Půdorysné rozměry jsou 30,8 x 17,0m, maximální výška je 7,2m.

Navržené objekty byly situovány na Ostravsko.

### **2.2 Nosná konstrukce**

Nosnou konstrukci administrativní budovy tvoří 6 příčných ráků z monolitického železobetonu. Z toho 3 ráky se skládají ze tří polí na šířku i na výšku a další 3 ráky se skládají ze tří polí na výšku a jednoho pole s převislými konci na šířku. Osová vzdálenost sloupů v příčném směru je 7,2m, v podélném 6m. Prostorové ztužení je zajištěno ztužujícími průvlaky v podélném směru. Rozměry průvlaků jsou 450x300mm a sloupů 300x300mm. Stropy jsou z prefabrikovaných stropních panelů Spiroll. Pohyb osob ve svislém směru umožňuje dvouramenné schodiště, šířky 1500mm, tloušťky 200mm.

Prefabrikovaná hala je jednopodlažní, dvoulodní. Hlavní nosnou konstrukci tvoří 6 příčných ráků. V podélném směru jsou uloženy průvlaky pro zajištění prostorového spolupůsobení. Osová vzdálenost sloupů v příčném směru je 8,2m, v podélném směru 6m. Rozměry průvlaků jsou 600x300mm a sloupů 300x300mm. Hala je opláštěná stěnovými a střešními panely, které rovněž přispívají k prostorovému ztužení.

### **2.3 Založení objektu**

Oba objekty jsou založeny na základových patkách, do nichž jsou vetknuty sloupy. Rozměry patek administrativní budovy jsou 1,5x1,5x0,5m, rozměry patek haly jsou 1,1x1,1x0,5m, s výjimkou patek na rozhraní mezi objekty, kde jsou rozměry menší. Hloubka založení je 1,4m pod úroveň podlahy 1.NP. Obvodový plášť administrativní budovy, základové překlady haly, základy schodiště i nosných stěn jsou šířky 300mm, založeny 0,8m pod úroveň podlahy 1.NP. Podkladní beton pod podlahou administrativní budovy je tloušťky 120mm, u haly má tloušťku 150mm.

Podloží objektu je z jílu štěrkovitého o mocnosti 6,5m. Podsyp a zásyp základů je z hutněného štěrku dobře zrněného o mocnosti minimálně 100mm. Hladina podzemní vody je v hloubce -1,6m od úrovně podlahy 1.NP, tedy 0,2m pod úrovní základů.

## **2.4 Ostatní konstrukce**

Obvodový plášť administrativní budovy je z cihelných bloků Porotherm 30P+D k němu je kotven zateplovací systém weber therm standard tl. 150mm. Vnitřní nosné i nenosné stěny jsou rovněž z bloků Porotherm (17,5P+D; 8P+D) nebo Ytong (tl. 50mm), povrchové úpravy jsou omítky nebo keramické obklady. Zastřešení je provedeno jednoplášťovou plochou střechou, krytina je fólie z PVC a spádová vrstva je ze spádových klínů z EPS 100s. Podhledy stropních konstrukcí tvoří sádrokartonové desky, nášlapné vrstvy podlah jsou z keramických dlažeb nebo zátěžových koberců.

Obvodový plášť haly je ze sendvičových panelů, střecha je pultová a nosnými prvky jsou střešní kazetové desky, na které je přichycena tepelná izolace z EPS 100s a fólie z PVC. Podlaha haly je z leštěného betonu, tl. 150mm. V hale se dále nachází jeřábové dráhy, v každé lodi jedna, které se pohybují po ocelových nosnících HEB 260.

## **2.5 Doplnkové údaje**

Zastavěná plocha:	administrativní budova	415,53m <sup>2</sup>
	hala	523,60m <sup>2</sup>

### 3. Administrativní budova

#### 3.1 Zatížení

##### 3.1.1 Zatížení stálé

Hmotnosti staviv, výrobků (tab. 1)

Materiál	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Fólie mPVC	3,2	
Geotextilie	0,3	
Samonivelační cementová hmota	5	
Panel Spiroll	272	
Zátěžový koberec	2,7	
Disperzní lepidlo	0,4	
Silikonová fasádní omítka	3,6	
Keramická dlažba		2200
Flexibilní lepidlo		2100
Stěrkové lepidlo		1600
Vápenocementová omítka		2100
Betonová mazanina		2400
Železobeton		2500
Polystyrén		23
Sádrokarton		1050
Porotherm 8 P+D		1000
Ytong P4 - 500		500

Skladba A4 – podesta schodiště (tab. 2)

Materiál	Tloušťka [mm]	Výpočet	g <sub>k</sub> [kN/m]
Keramická dlažba	7	0,007*22*1	0,154
Flexibilní lepidlo	4	0,004*21*1	0,084
Samonivelační hmota		0,05*1	0,050
Železobeton	200	0,2*25*1	5,000
Vápenocementová omítka	10	0,01*21*1	0,210
		Σ	5,498

Skladba A4 – ramena schodiště (tab. 3)

Materiál	Tloušťka [mm]	Výpočet	$g_k$ [kN/m]
Keramická dlažba	7	$0,007*22*1$	0,154
Flexibilní lepidlo	4	$0,004*21*1$	0,084
Železobeton	223	$0,223*25*1$	5,581
Železobetonové stupně	330 * 150	$6*0,33*0,15*25*1/4,05$	1,833
Omítka	10	$0,01*21*1$	0,210
$\Sigma$			7,862

Skladba A5 (tab. 4)

Materiál	Tloušťka [mm]	Výpočet	$g_k$ [kN/m]
Keramická dlažba	7	$0,007*22*1$	0,154
Flexibilní lepidlo	4	$0,004*21*1$	0,084
Samonivelační hmota		$0,05*1$	0,050
Betonová mazanina	40	$0,04*24*1$	0,960
Panel Spiroll	160	$2,72*1$	2,720
Sádrokarton	20	$0,02*10,5*1$	0,210
$\Sigma$			4,178

Skladba A6 (tab. 5)

Materiál	Tloušťka [mm]	Výpočet	$g_k$ [kN/m]
Zátěžový koberec		$0,027*1$	0,027
Disperzní lepidlo		$0,004*1$	0,004
Samonivelační hmota		$0,05*1$	0,050
Betonová mazanina	40	$0,04*24*1$	0,960
Panel Spiroll	160	$2,72*1$	2,720
Sádrokarton	20	$0,02*10,5*1$	0,210
$\Sigma$			3,971

Skladba A7 (tab. 6)

Materiál	Tloušťka [mm]	Výpočet	$g_k$ [kN/m]
Keramická dlažba	7	$0,007*22*1$	0,154
Flexibilní lepidlo	4	$0,004*21*1$	0,084
Samonivelační hmota		$0,05*1$	0,050
Betonová mazanina	40	$0,04*24*1$	0,960
Panel Spiroll	160	$2,72*1$	2,720
Lepicí hmota	5	$0,005*16*1$	0,080
Polystyrén	50	$0,05*0,23*1$	0,012
Stěrka s výztužnou sítkou	8	$0,008*16*1$	0,128
Silikonová fasáda		$0,036*1$	0,036
		$\Sigma$	4,224

Skladba A8 (tab. 7)

Materiál	Tloušťka [mm]	Výpočet	$g_k$ [kN/m]
Fólie mPVC		$0,032*1$	0,032
Geotextílie		$0,003*1$	0,003
Polystyrén	100 + 430	$0,53*0,23*1$	0,122
Betonová mazanina	40	$0,04*24*1$	0,960
Panel Spiroll	160	$2,72*1$	2,720
Sádkokarton	20	$0,02*10,5*1$	0,210
		$\Sigma$	4,047

Liniová zatížení (tab. 8)

Materiál	Tloušťka [mm]	Výpočet	$g_k$ [kN/m]
Železobetonový průvlak	450 * 300	$0,45*0,3*25$	3,375
Porotherm 8 P+D + 2x omítka	80 + 2*10	$3,4*(0,08*10 + 2*0,01*21)$	4,148
Ytong P4 - 500 + 2x obklad, omítka	50 + 2*10	$3,4*(0,05*5 + 2*0,01*22)$	2,346

### 3.1.2 Zatížení užité (tab. 9)

Provoz	$q_k$ [kN/m]
Kanceláře	3,00
Střecha - kategorie H	0,75

### 3.1.3 Zatížení sněhem

Ostravsko – II. sněhová oblast

$s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$  charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

$c_e = 1,0$  součinitel expozice

$c_t = 1,0$  tepelný součinitel

$\mu_1 = 0,8$  tvarový součinitel zatížení sněhem

Vztah pro trvalou a dočasnou návrhovou situaci zatížení sněhem na střeších

$$s = s_k * c_e * c_t * \mu_1 = 1 * 1 * 1 * 0,8 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

### 3.1.4 Zatížení větrem

Ostravsko – II. větrná oblast

$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$  výchozí základní rychlost větru

$c_{dir} = 1,0$  součinitel směru větru

$c_{season} = 1,0$  součinitel ročního období

Základní rychlost větru

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1 * 1 * 25 = 25 \text{ m/s}$$

Kategorie terénu III. – oblast pravidelně pokrytá vegetací, budovami nebo překážkami

$z_0 = 0,3 \text{ m}$  parametr drsnosti terénu

$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$

$z = 12,03 \text{ m}$  výška objektu

$$k_r = 0,19 * \ln\left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 * \ln\left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,198$$

$$c_r(z) = k_r * \ln\frac{z}{z_0} = 0,198 * \ln\frac{12,03}{0,3} = 0,731$$
 součinitel drsnosti terénu

$c_0(z) = 1,0$  součinitel ortografie

$$v_m(z) = c_t(z) * c_0(z) * v_b = 0,731 * 1 * 25 = 18,275 \text{ m/s}$$
 charakteristická střední rychlost větru

$$I_v(z) = \frac{k_t}{c_0(z) * \ln\frac{z}{z_0}} = \frac{1,0}{1 * \ln\frac{12,03}{0,3}} = 0,271$$
 intenzita turbulence

Charakteristický maximální dynamický tlak

$$q_p = [1 + 7 * I_v] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2 = (1 + 7 * 0,271) * 0,5 * 1,25 * 18,275^2 = 0,605 \text{ kN/m}^2$$

Tlak větru na střešní konstrukci

$$e = \min(b; 2h) = \min(12,35; 2 * 12,03 = 24,06) = 12,35 \text{ m}$$

Plocha vystavená působení větru  $> 10 \text{ m}^2 \rightarrow c_{pe,10}$

$h_p = 0,3 \text{ m}$  výška atiky



$$h_p/h = 0,3/11,73 = 0,026$$

Hodnoty součinitele vnějších tlaků

$$c_{pe,10}^F = -1,6$$

$$c_{pe,10}^G = -1,1$$

$$c_{pe,10}^H = -0,7$$

$$c_{pe,10}^{I^-} = -0,2$$

$$c_{pe,10}^{I^+} = 0,2$$

Hodnoty součinitele vnitřních tlaků

$$c_{pi,10} = 0,2$$

$$c_{pi,10} = -0,3$$

Výsledný tlak větru na střešní plášť

$$w_k = w_e + w_i = q_p(z_e) * c_{pe,10} + q_p(z_i) * c_{pi,10}$$

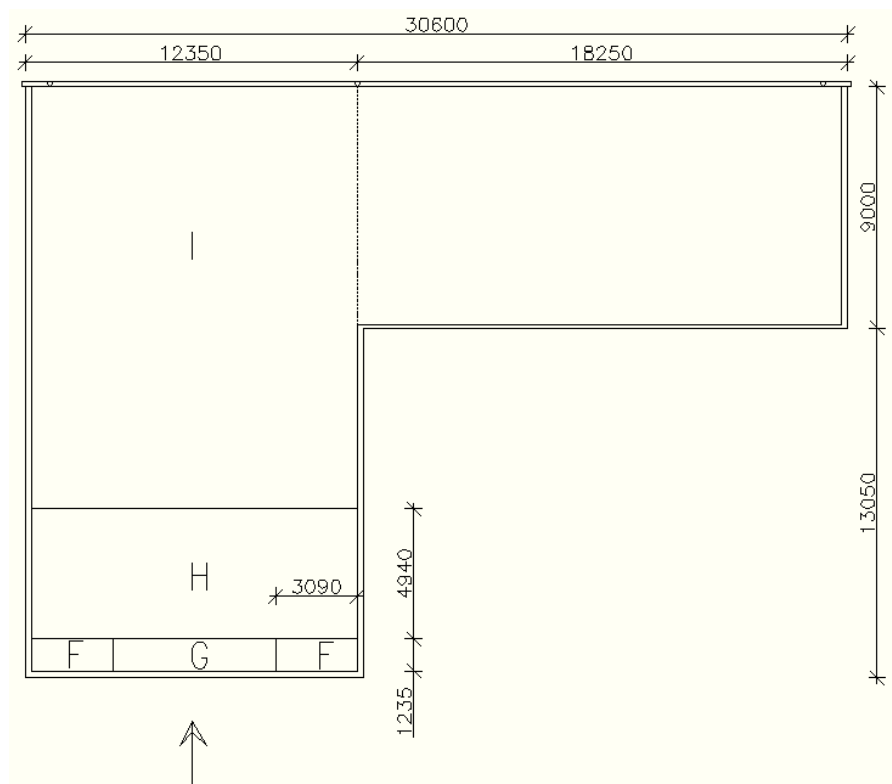
$$w_k^{F^-} = 0,605 * (-1,6 - 0,2) = -1,089 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{G^-} = 0,605 * (-1,1 - 0,2) = -0,787 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{H^-} = 0,605 * (-0,7 - 0,2) = -0,545 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I^-} = 0,605 * (-0,2 - 0,2) = -0,242 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I^+} = 0,605 * (0,2 + 0,3) = 0,303 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 1 – oblasti působení větru na střešní konstrukci

$$e = \min(b; 2h) = \min(18,25; 2 * 12,03 = 24,06) = 18,25\text{m}$$

Plocha vystavená působení větru  $> 10\text{m}^2 \rightarrow c_{pe,10}$

$$h_p = 0,55\text{m}$$

výška atiky

$$h_p/h = 0,55/11,73 = 0,047$$

Hodnoty součinitele vnějších tlaků

$$c_{pe,10}^F = -1,4$$

$$c_{pe,10}^G = -0,9$$

$$c_{pe,10}^H = -0,7$$

Hodnoty součinitele vnitřních tlaků

$$c_{pi,10} = 0,2$$

$$c_{pi,10} = -0,3$$

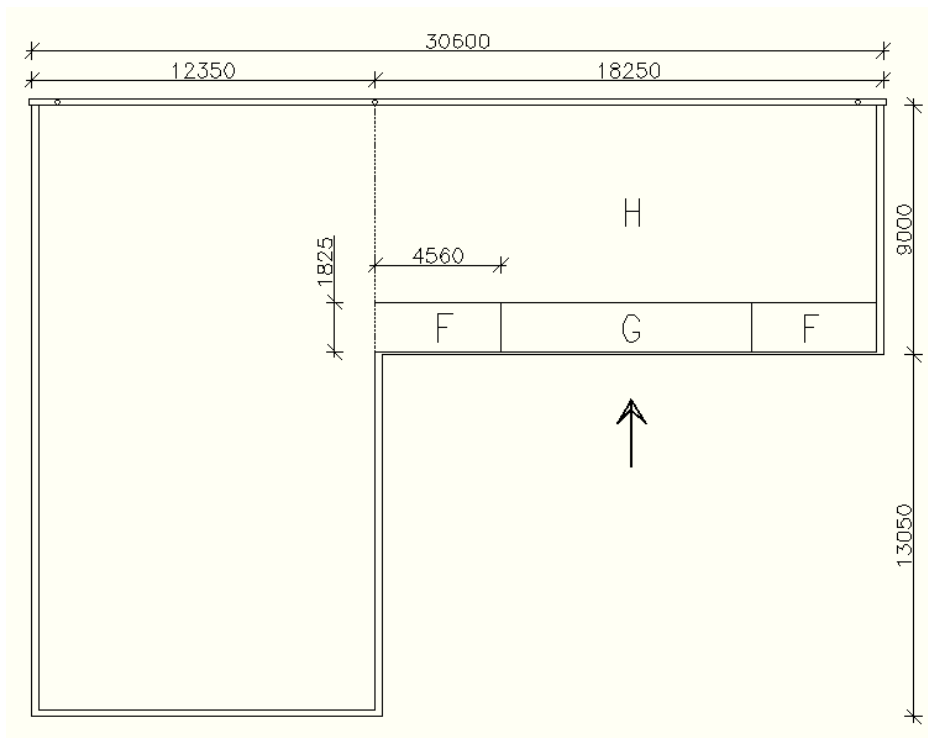
Výsledný tlak větru na střešní plášť

$$w_k = w_e + w_i = q_p(z_e) * c_{pe,10} + q_p(z_i) * c_{pi,10}$$

$$w_k^F = 0,605 * (-1,4 - 0,2) = -0,968\text{kN/m}^2$$

$$w_k^G = 0,605 * (-0,9 - 0,2) = -0,666\text{kN/m}^2$$

$$w_k^H = 0,605 * (-0,7 - 0,2) = -0,545\text{kN/m}^2$$



Obr. 2 – oblasti působení větru na střešní konstrukci

Tlak větru na svislé konstrukce

$$e = \min(b; 2h) = \min(30,6; 2 * 12,03 = 24,06) = 24,06\text{m}$$

$$\text{Plocha vystavená působení větru} > 10\text{m}^2 \rightarrow c_{pe,10}$$

$$h/d = 12,03/22,05 = 0,546$$

Hodnoty součinitele vnějších tlaků

$$c_{pe,10}^A = -1,2$$

$$c_{pe,10}^B = -0,8$$

$$c_{pe,10}^D = 0,74$$

$$c_{pe,10}^E = -0,379$$

Hodnoty součinitele vnitřních tlaků

$$c_{pi,10} = 0,2$$

$$c_{pi,10} = -0,3$$

Výsledný tlak větru na střešní plášť

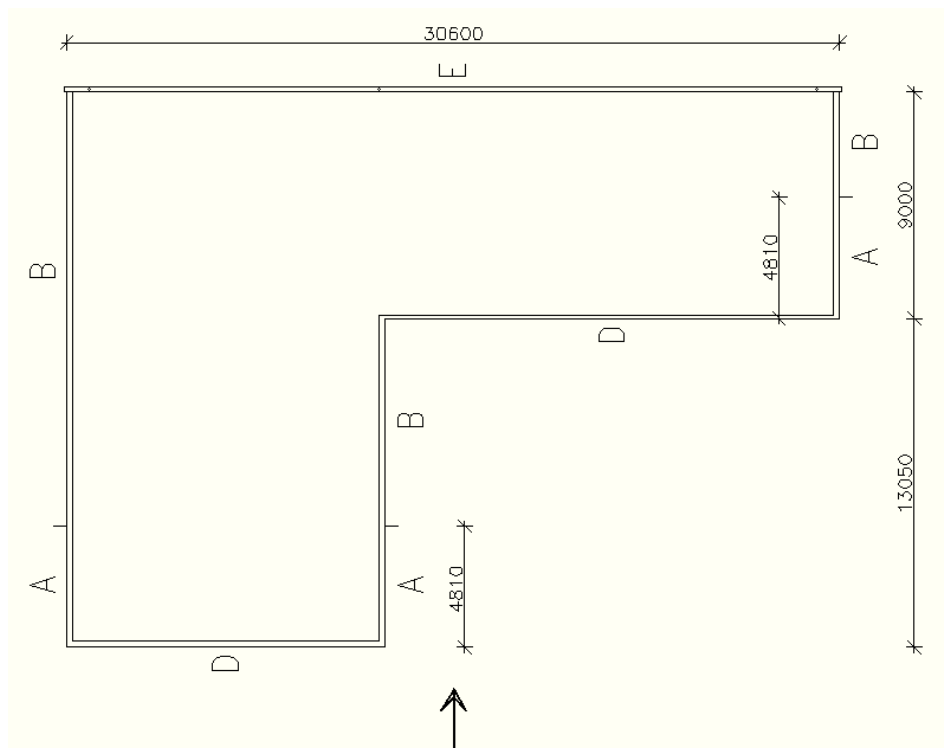
$$w_k = w_e + w_i = q_p(z_e) * c_{pe,10} + q_p(z_i) * c_{pi,10}$$

$$w_k^A = 0,605 * (-1,2 - 0,2) = -0,847\text{kN/m}^2$$

$$w_k^B = 0,605 * (-0,8 - 0,2) = -0,605\text{kN/m}^2$$

$$w_k^D = 0,605 * (0,74 + 0,3) = 0,629\text{kN/m}^2$$

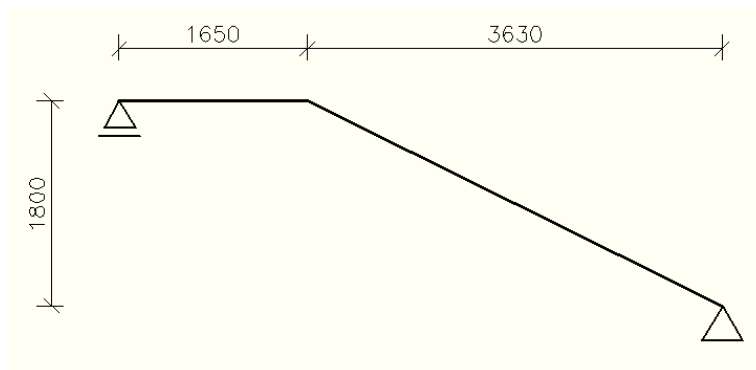
$$w_k^{E+} = 0,605 * (-0,379 - 0,2) = -0,350\text{kN/m}^2$$



Obr. 3 – oblasti působení větru na svislé konstrukce

### 3.1.5 Zatěžovací stavy

#### Nástupní rameno schodiště

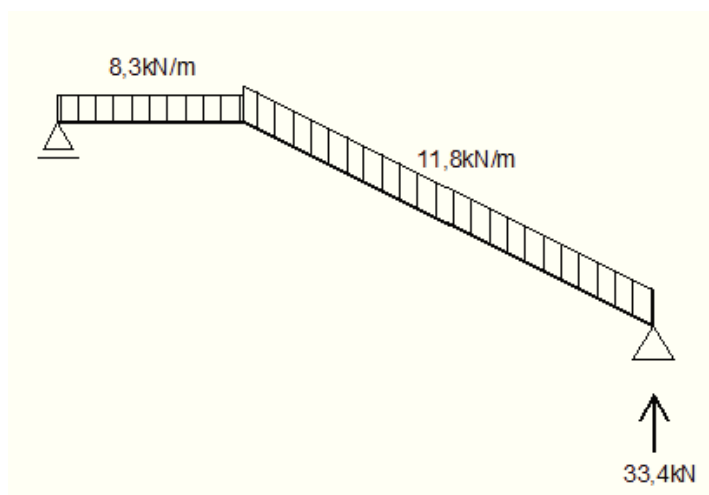


Obr. č. 4 – statické schéma nástupního ramene schodiště

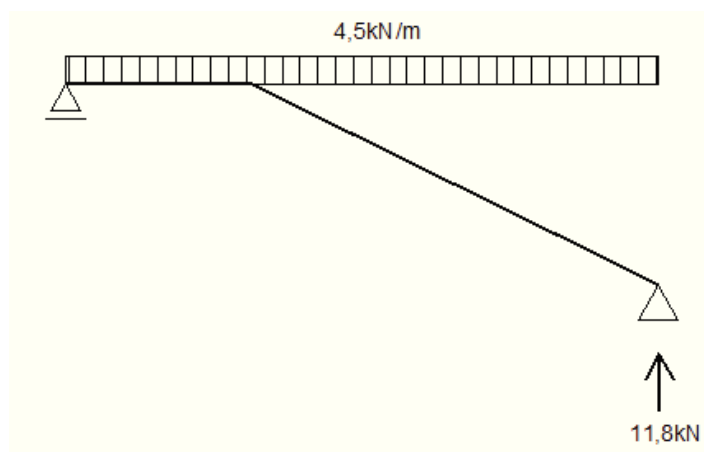
Šířka ramene 1,5m

Působící zatížení vlastní tíha + stálé zatížení (viz tab. 2; 3)

užitné zatížení – kanceláře (viz tab. 9)

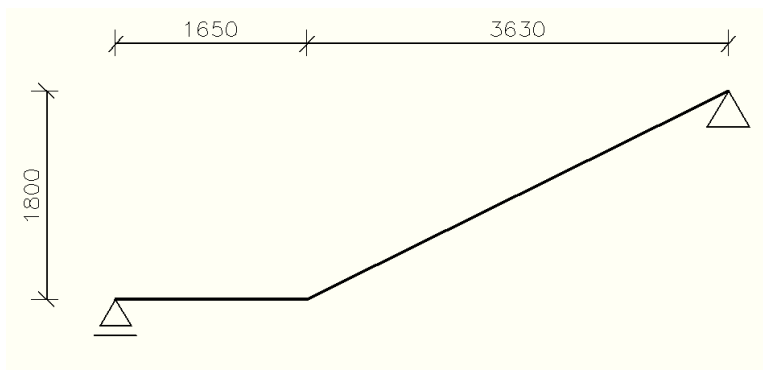


Obr. č. 5 – stálé zatížení nástupního ramene schodiště ( $g_k$ )



Obr. č. 6 – užitné zatížení nástupního ramene schodiště ( $q_k$ )

## Výstupní rameno schodiště

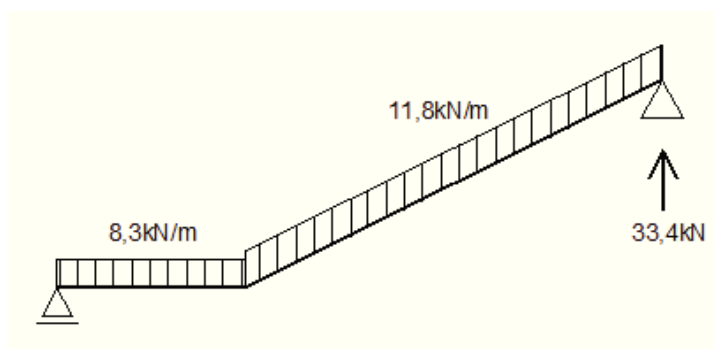


Obr. č. 7 – statické schéma výstupního ramene schodiště

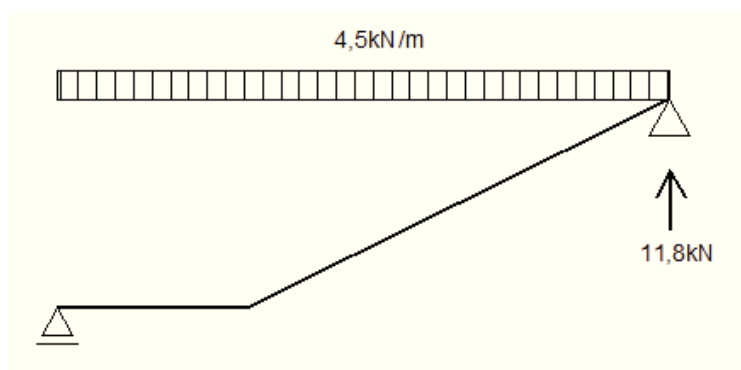
Šířka ramene 1,5m

Působící zatížení vlastní tíha + stálé zatížení (viz tab. 2; 3)

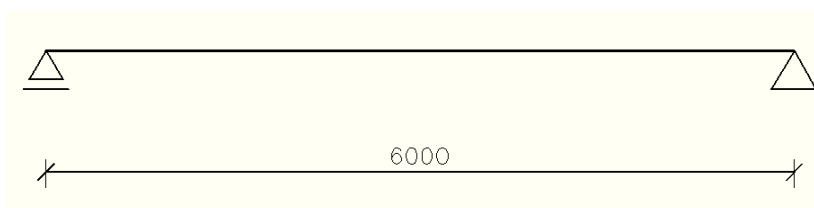
užitné zatížení – kanceláře (viz tab. 9)



Obr. č. 8 – stálé zatížení výstupního ramene schodiště ( $g_k$ )



Obr. č. 9 – užité zatížení výstupního ramene schodiště ( $q_k$ )

**Podestový nosník**

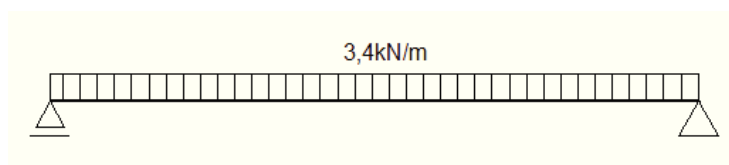
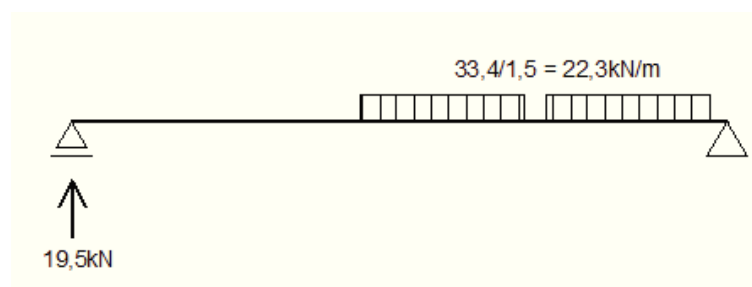
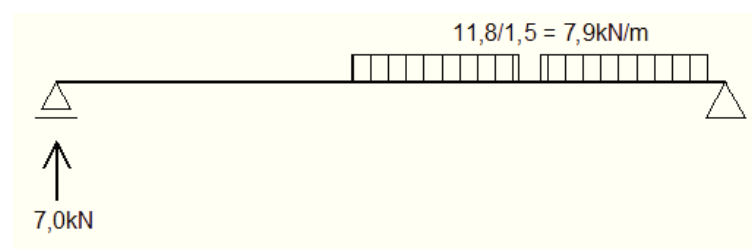
Obr. č. 10 – statické schéma podestového nosníku

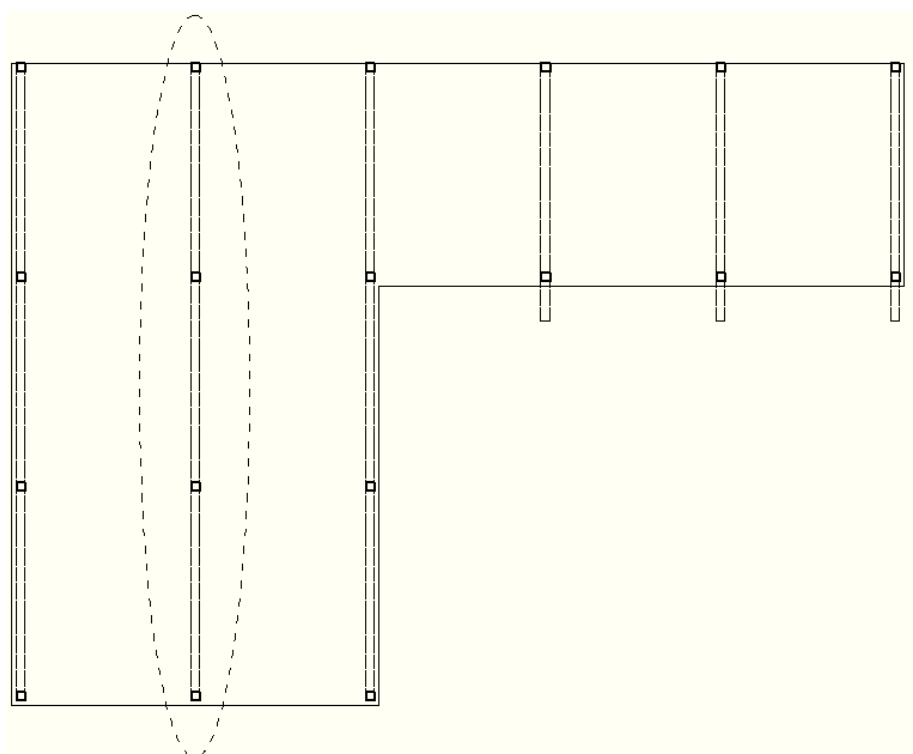
Rozměry 0,45 x 0,3m

Působící zatížení vlastní tíha

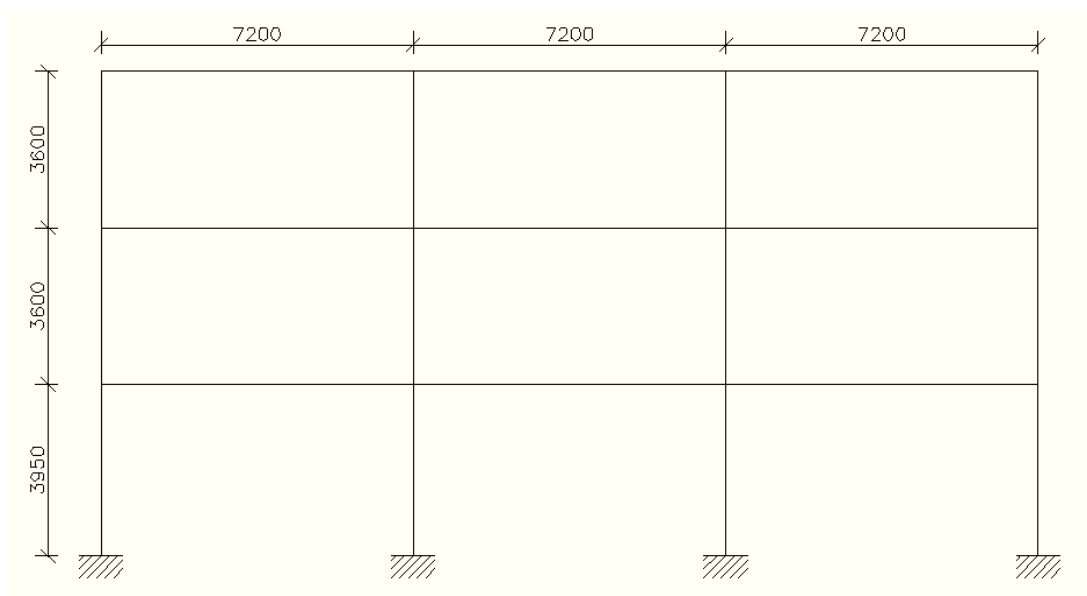
stálé (reakce od ramen schodiště)

užitné – kanceláře (reakce od ramen schodiště)

Obr. č. 11 – zatížení podestového nosníku vlastní tíhou ( $g_k$ )Obr. č. 12 – stálé zatížení podestového nosníku ( $g_k$ )Obr. č. 13 – užitné zatížení podestového nosníku ( $q_k$ )

**Rám (1)**

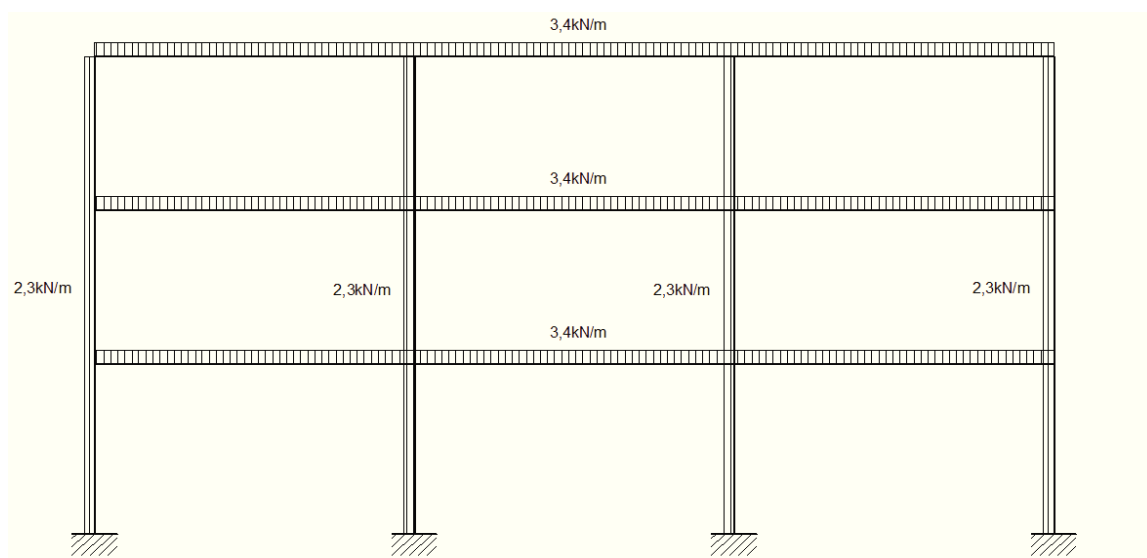
Obr. č. 14 – vybraný rám (1) pro posouzení



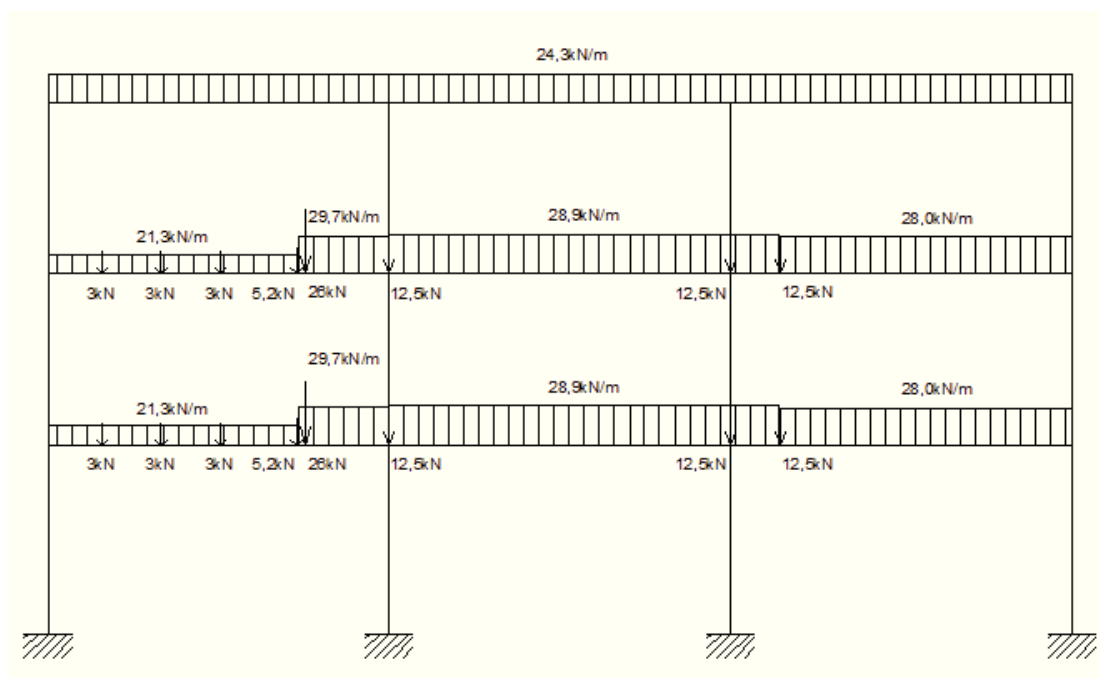
Obr. č. 15 – geometrie vybraného rámu pro posouzení

Rozměry prvků	průvlaky	0,45 x 0,3m
	sloupy	0,3 x 0,3m

Působící zatížení      vlastní tíha  
 stálé (viz tab. 4; 5; 6; 7; 8)  
 užitné (viz tab. 9)  
 sníh (viz 3.1.4)  
 vítr (viz 3.1.3)

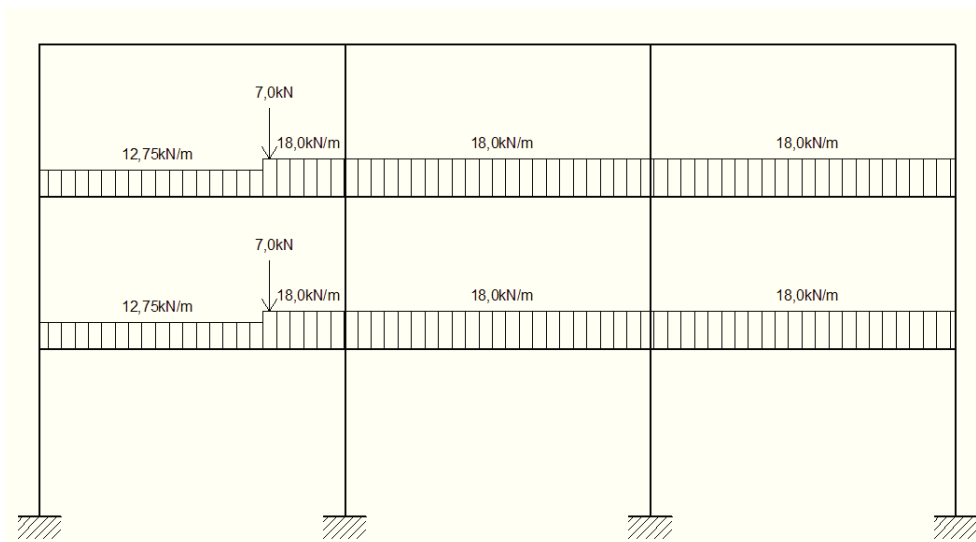
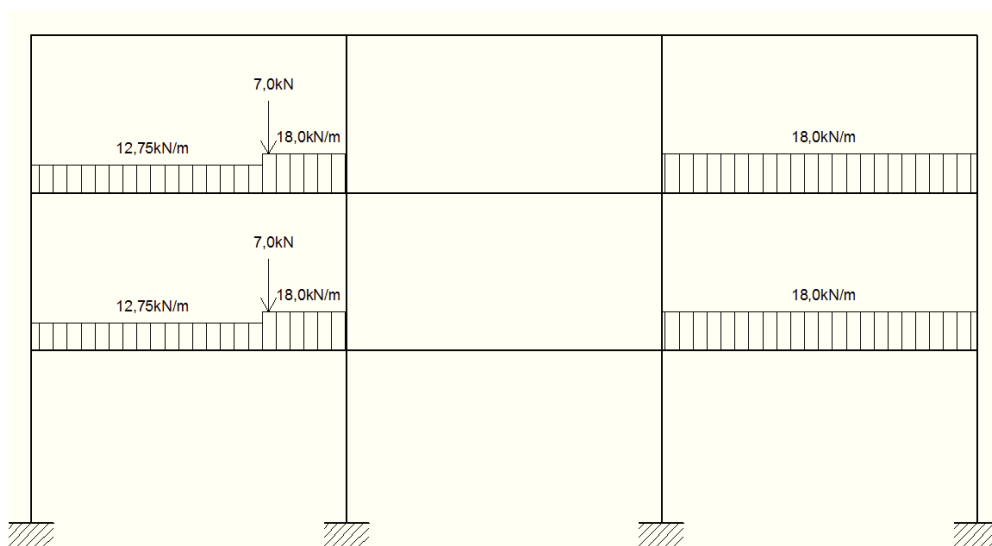
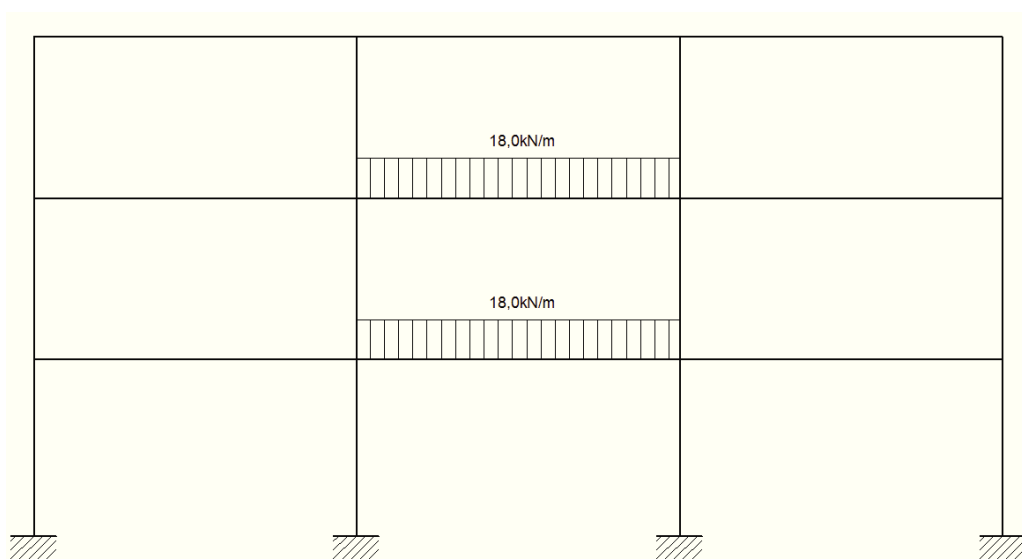


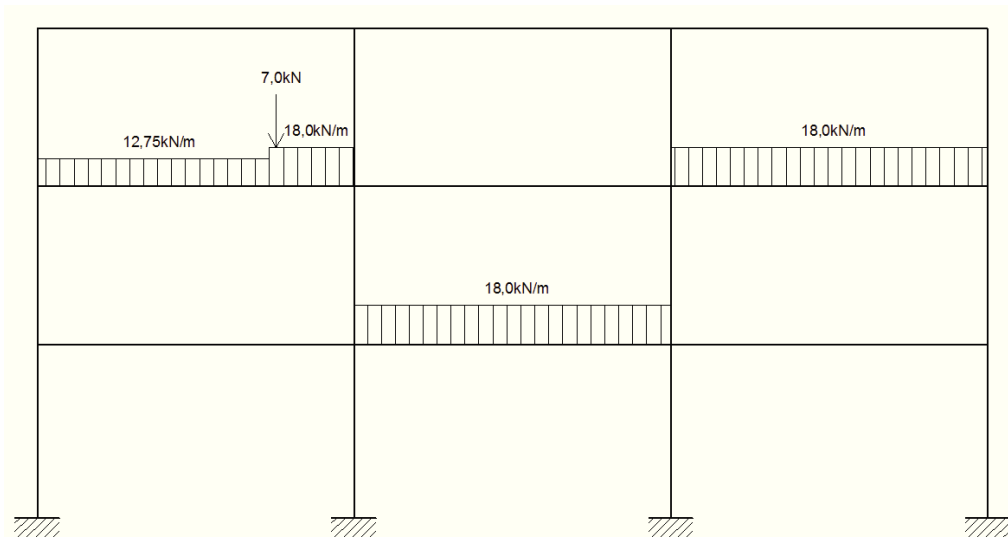
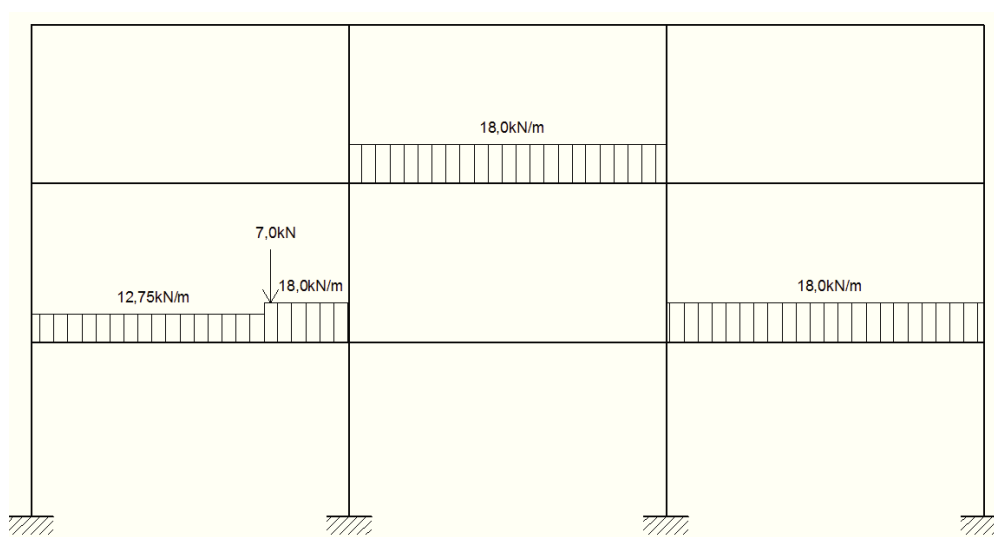
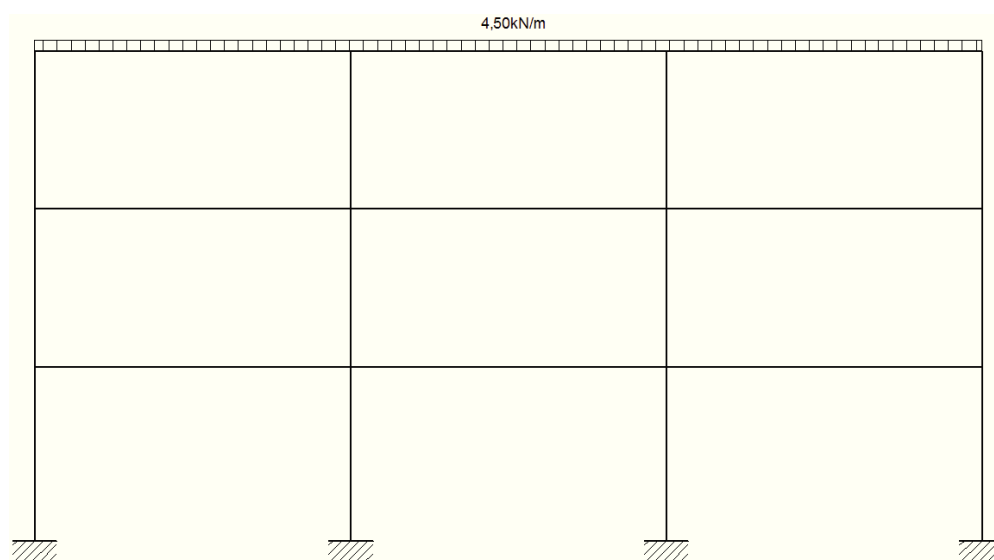
Obr. č. 16 – zatížení vlastní tíhou rámu ( $g_k$ )

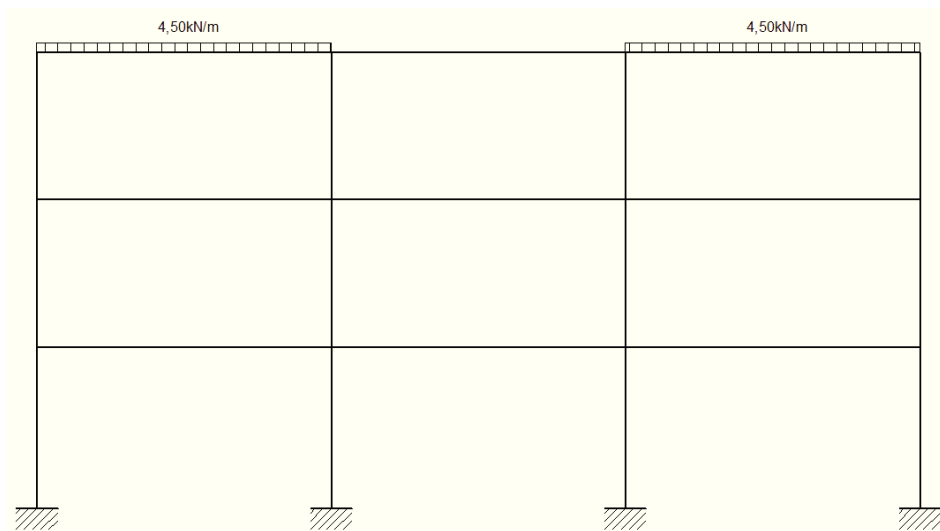


Obr. č. 17 – stálé zatížení ( $g_k$ )

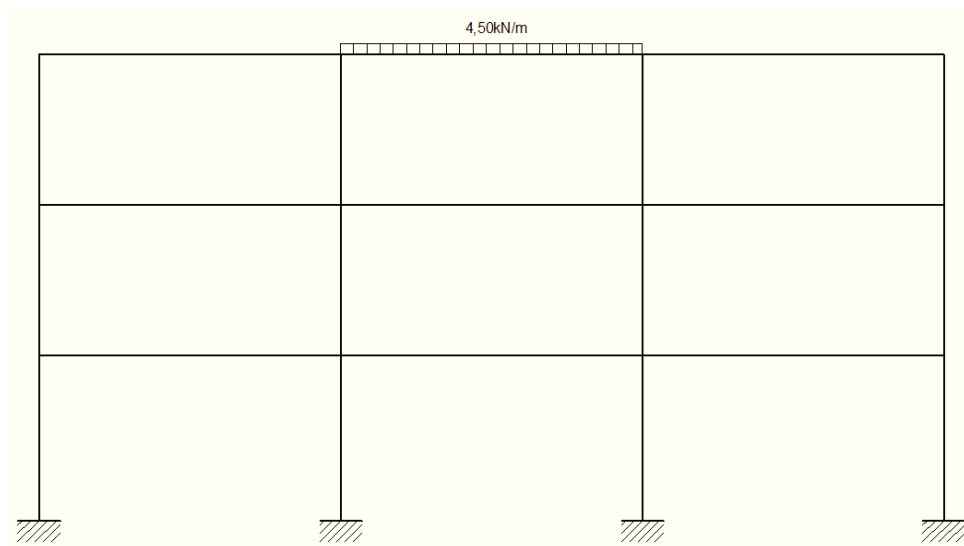


Obr. č. 18 – užité zátížení – kanceláře ( $q_{kk}$ )Obr. č. 19 – užité zátížení – kanceláře ( $q_{kk1}$ )Obr. č. 20 – užité zátížení – kanceláře ( $q_{kk2}$ )

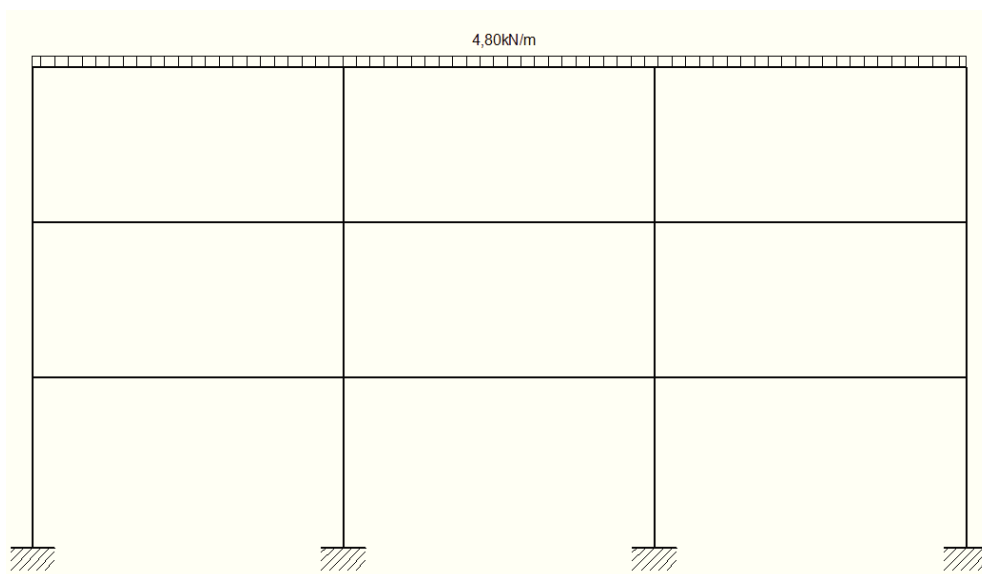
Obr č. 21 – užité zatížení – kanceláře ( $q_{kk3}$ )Obr č. 22 – užité zatížení – kanceláře ( $q_{kk4}$ )Obr č. 23 – užité zatížení – střecha kat. H ( $q_{kH}$ )



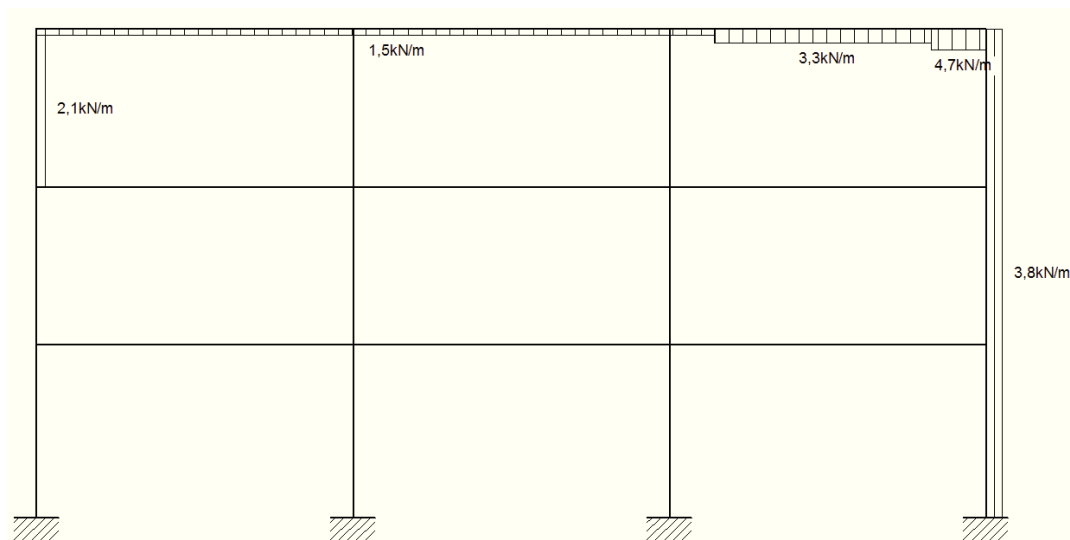
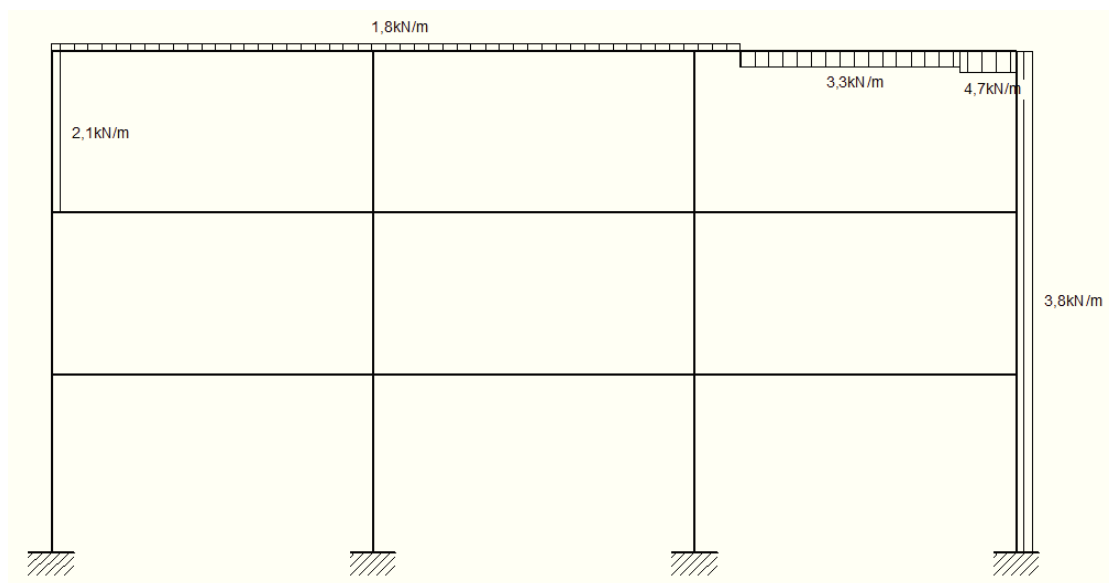
Obr. č. 24 – užitné zatížení – střecha kat. H ( $q_{kH1}$ )

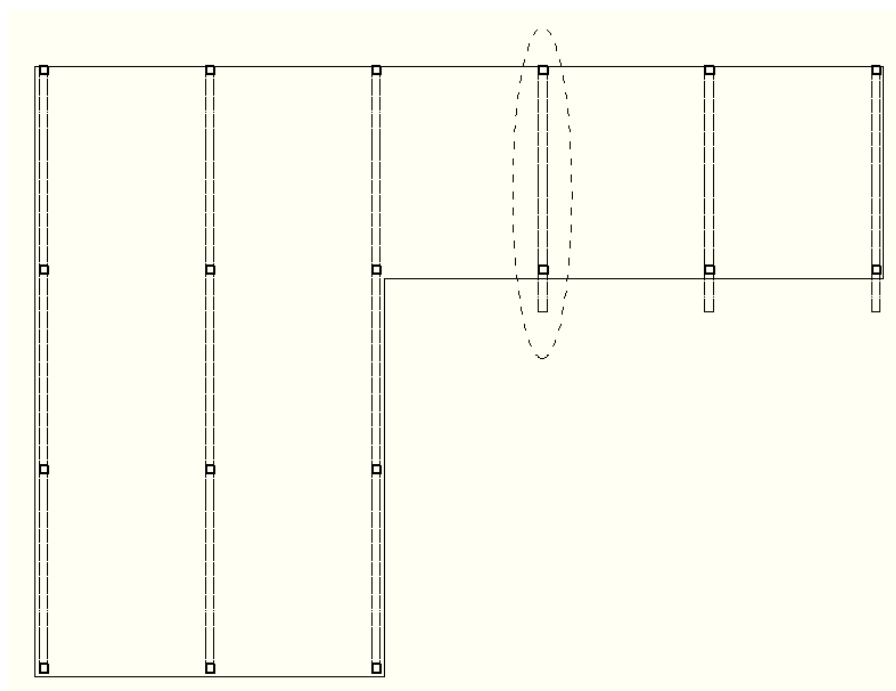


Obr. č. 25 – užitné zatížení – střecha kat. H ( $q_{kH2}$ )

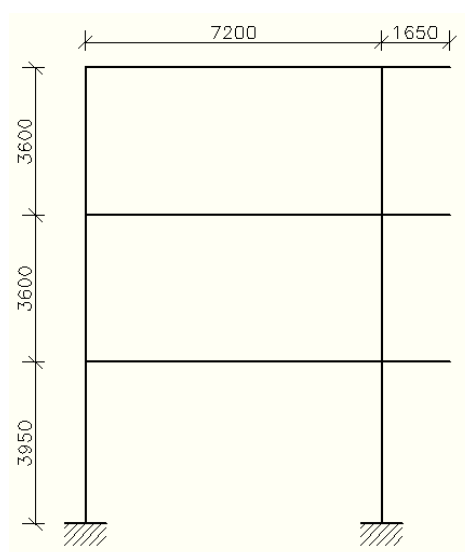


Obr. č. 26 – zatížení sněhem ( $q_{ks}$ )

Obr. č. 27 – zatížení větrem ( $q_{kV}$ )Obr. č. 28 – zatížení větrem ( $q_{kV1}$ )

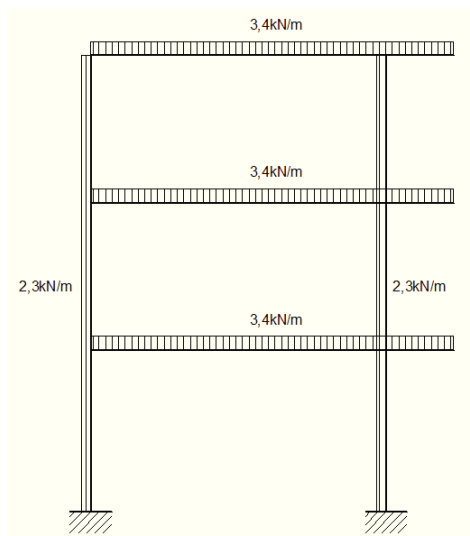
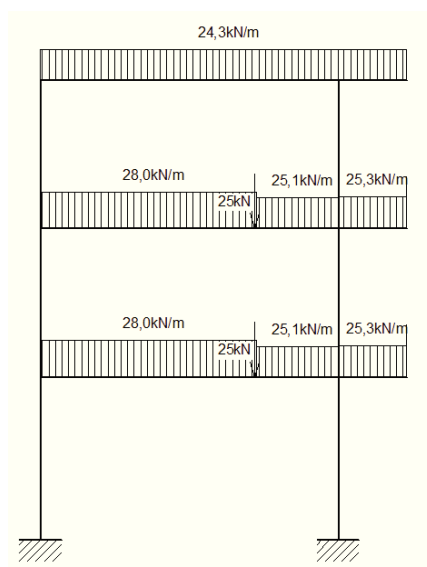
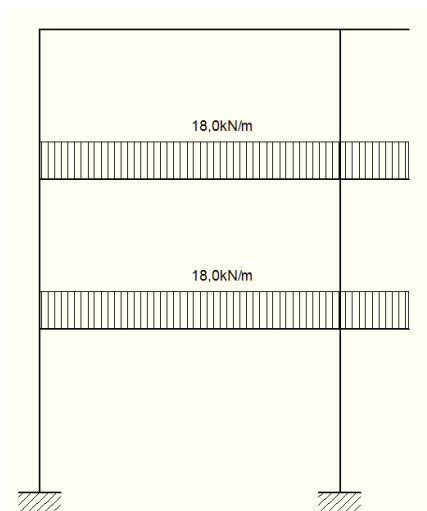
**Rám (2)**

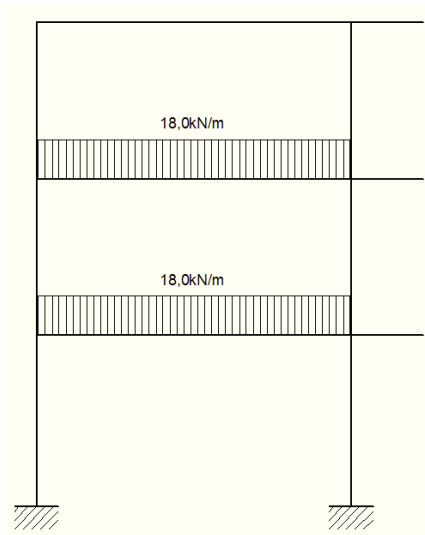
Obr č. 29 – vybraný rám (2) pro posouzení



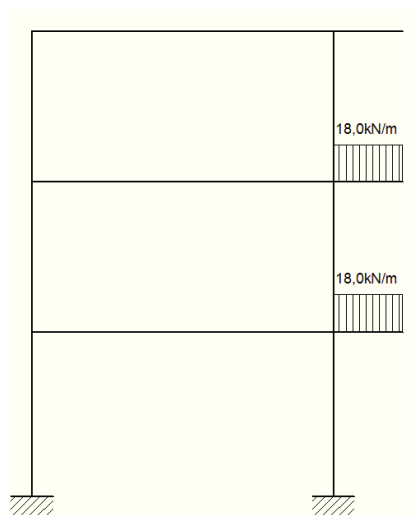
Obr č. 30 – geometrie vybraného rámu pro posouzení

Rozměry prvků	průvlaky	0,45 x 0,3m
	sloupy	0,3 x 0,3m
Působící zatížení	vlastní tíha	
	stálé (viz tab. 4; 5; 6; 7; 8)	
	užitné (viz tab. 9)	
	sníh (viz 3.1.3)	
	vítr (viz 3.1.4)	

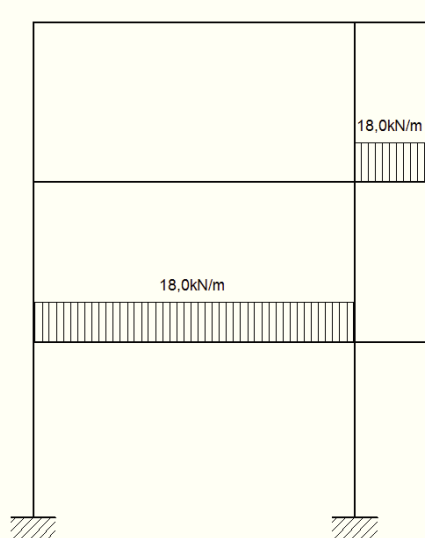
Obr. č. 31 – zatížení vlastní tíhou rámu ( $g_k$ )Obr. č. 32 – stálé zatížení ( $g_k$ )Obr. č. 33 – užité zatížení – kanceláře ( $q_{kk}$ )



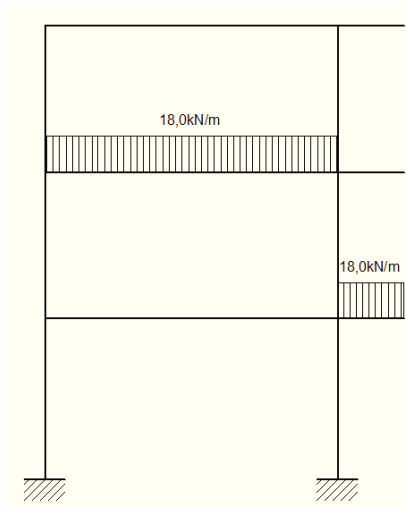
Obr. č. 34 – užitné zatížení – kanceláře ( $q_{kk1}$ )



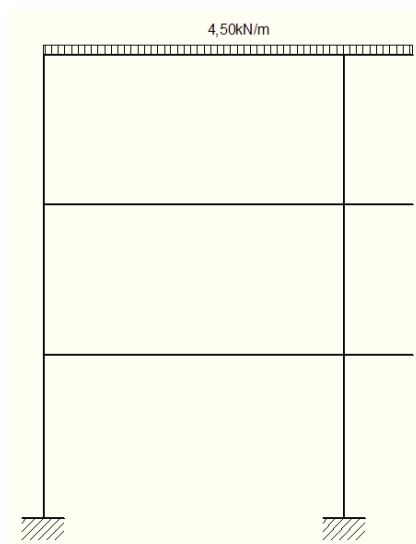
Obr. č. 35 – užitné zatížení – kanceláře ( $q_{kk2}$ )



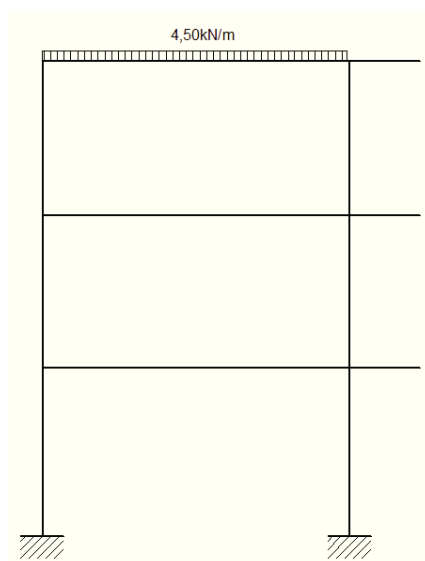
Obr. č. 36 – užitné zatížení – kanceláře ( $q_{kk3}$ )



Obr č. 37 – užitné zatížení – kanceláře ( $q_{kk4}$ )

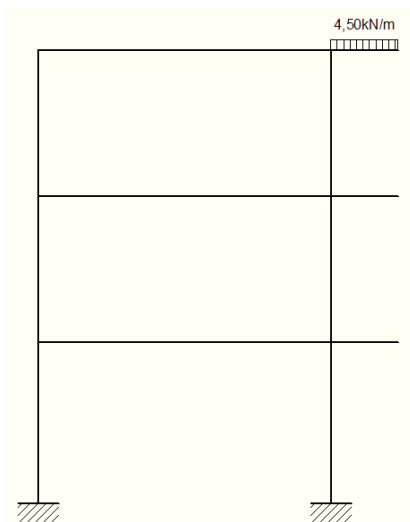


Obr č. 38 – užitné zatížení – střecha kat. H ( $q_{kH}$ )

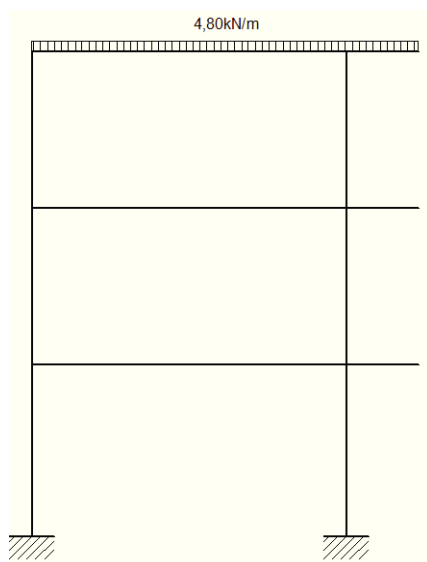


Obr č. 39 – užitné zatížení – střecha kat. H ( $q_{kH1}$ )

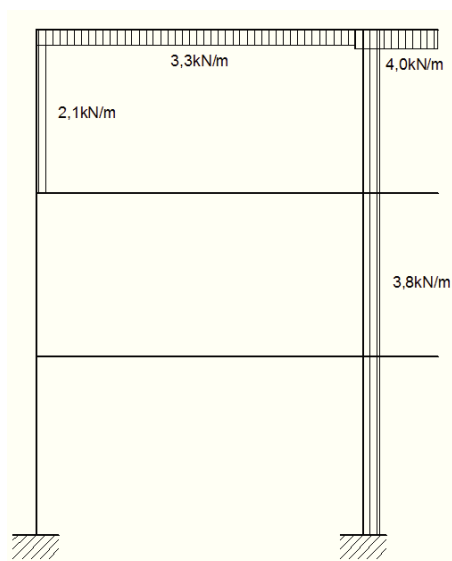




Obr. č. 40 – užiténé zatížení – střecha kat. H ( $q_{kH2}$ )



Obr. č. 41 – zatížení sněhem ( $q_{ks}$ )



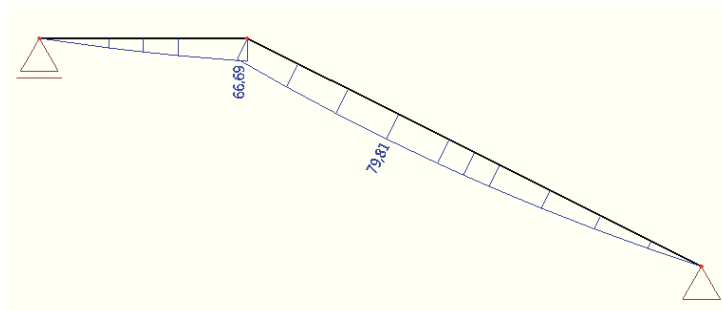
Obr. č. 42 – zatížení větrem ( $q_{kv}$ )

### 3.1.6 Kombinace zatížení

#### Nástupní rameno schodiště

$$M_{Ed}^+ = 1,35 * g_k + 1,5 * q_k = 79,81 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,35 * g_k + 1,5 * q_k = 56,09 \text{ kN}$$

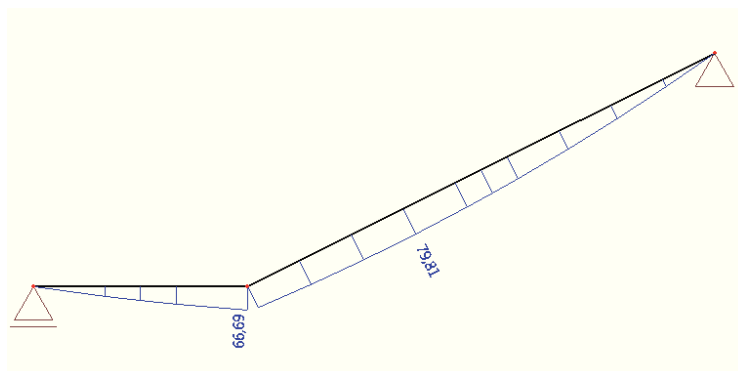


Obr. č. 43 – obalová křivka ohybových momentů nástupního ramene schodiště

#### Výstupní rameno schodiště

$$M_{Ed}^+ = 1,35 * g_k + 1,5 * q_k = 79,81 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,35 * g_k + 1,5 * q_k = 56,09 \text{ kN}$$

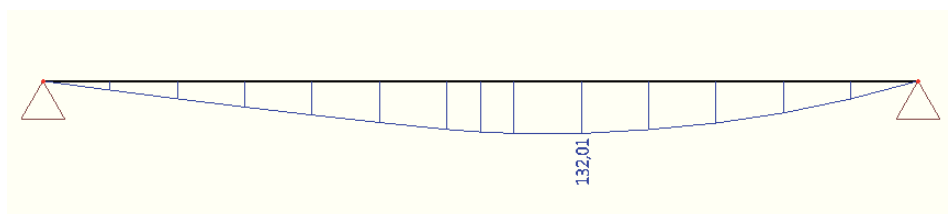


Obr. č. 44 – obalová křivka ohybových momentů výstupního ramene schodiště

#### Podestový nosník

$$M_{Ed}^+ = 1,35 * g_k + 1,5 * q_k = 132,01 \text{ kNm}$$

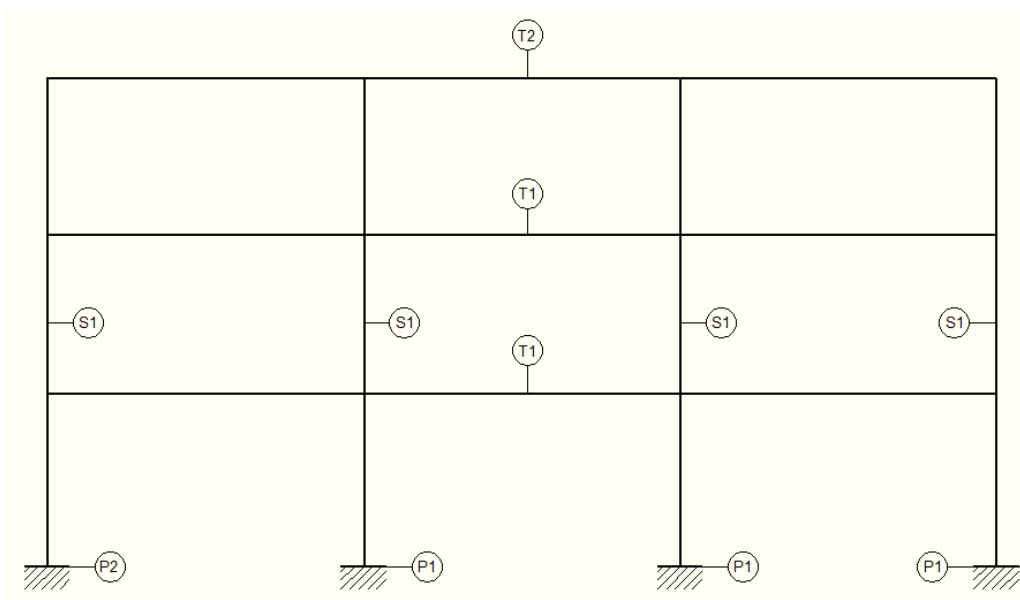
$$V_{Ed} = 1,35 * g_k + 1,5 * q_k = 102,63 \text{ kN}$$



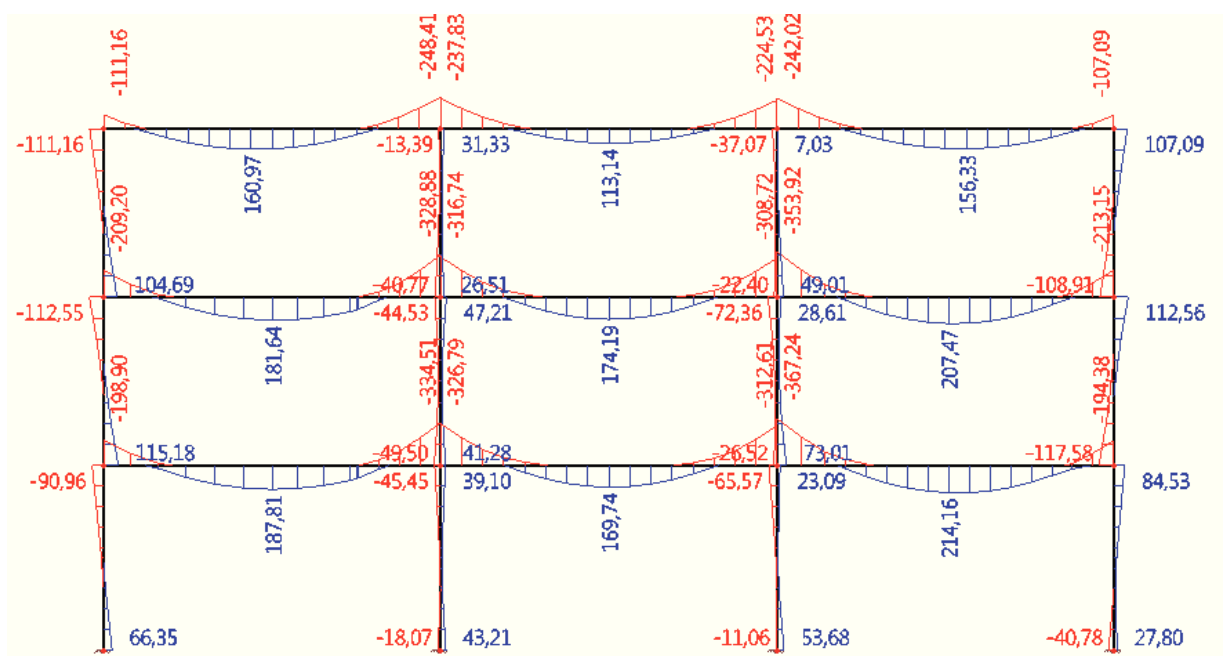
Obr. č. 45 – obalová křivka ohybových momentů podestového nosníku

**Rám (1)**

Označení prvků skeletu: S1 – sloup  
 T1; T2 – průvlak  
 P1; P2 – patka



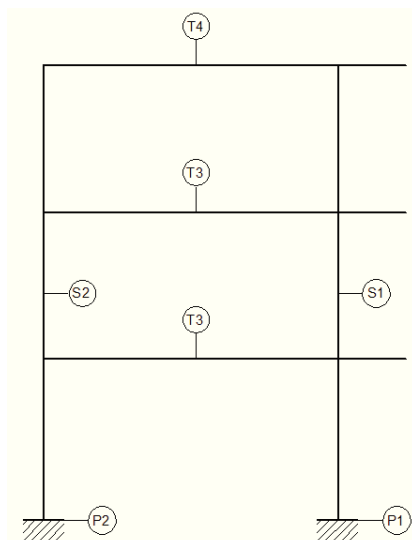
Obr. č. 46 – označení prvků skeletu – rám (1)



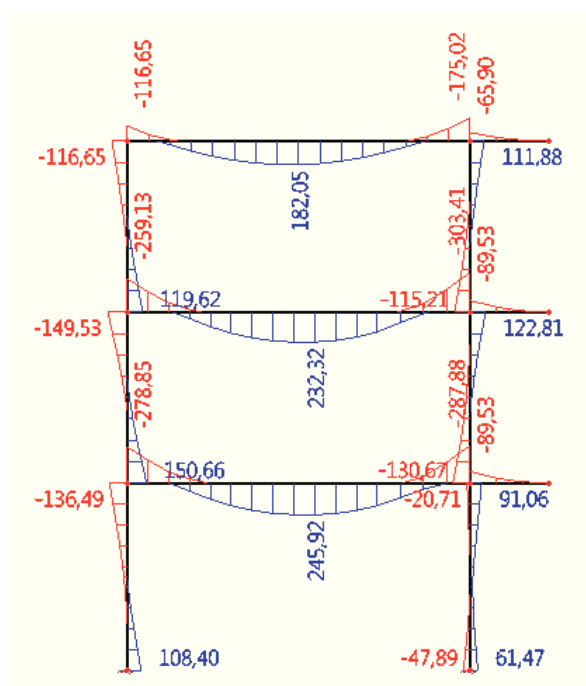
Obr. č. 47 – obalová křivka ohybových momentů rámu (1)

**Rám (2)**

Označení prvků skeletu: S1; S2 – sloup  
 T3; T4 – průvlak  
 P1; P2 – patka



Obr. č. 48 – označení prvků skeletu – rám (2)



Obr. č. 49 – obalová křivka ohybových momentů rámu (2)

**Rozhodující kombinace pro vyvození maximálních vnitřních sil v rámech**

Sloup S1:

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{kk1} = 117,58 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{kk} + 0,9 \cdot q_{kv} + 0,9 \cdot q_{ks} = 1464,37 \text{ kN}$$

Sloup S2:

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{kk1} + 0,9 \cdot q_{kv} = 150,66 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{kk1} + 0,9 \cdot q_{kv} + 0,9 \cdot q_{ks} = 692,86 \text{ kN}$$

Průvlak T1:

$$M_{Ed}^+ = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{kk4} + 0,9 \cdot q_{kv} + 0,9 \cdot q_{ks} = 214,16 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^- = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{kk} + 0,9 \cdot q_{kv} = -367,24 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{kk} + 0,9 \cdot q_{kv} = 292,94 \text{ kN}$$

Průvlak T2:

$$M_{Ed}^+ = 1,35 \cdot g_k + 1,05 \cdot q_{kk4} + 1,5 \cdot q_{kH1} + 0,9 \cdot q_{kv} + 0,9 \cdot q_{ks} = 160,97 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^- = 1,35 \cdot g_k + 1,05 \cdot q_{kk3} + 1,5 \cdot q_{kH} + 0,9 \cdot q_{kv} + 0,9 \cdot q_{ks} = -248,41 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{kH} + 0,9 \cdot q_{ks} = 194,01 \text{ kN}$$

Průvlak T3:

$$M_{Ed}^+ = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{kk3} + 0,9 \cdot q_{kv} + 0,9 \cdot q_{ks} = 245,92 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^- = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{kk} + 0,9 \cdot q_{ks} = -303,41$$

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{kk} + 0,9 \cdot q_{ks} = 279,65 \text{ kN}$$

Průvlak T4:

$$M_{Ed}^+ = 1,35 \cdot g_k + 1,05 \cdot q_{kk3} + 1,5 \cdot q_{kH1} + 0,9 \cdot q_{ks} = 182,05 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^- = 1,35 \cdot g_k + 1,05 \cdot q_{kk4} + 1,5 \cdot q_{kH} + 0,9 \cdot q_{ks} = 175,02 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot g_k + 1,05 \cdot q_{kk} + 1,5 \cdot q_{kH} + 0,9 \cdot q_{ks} = 183,34 \text{ kN}$$

Základová patka P1:

$$M_{Ed,x} = 1,35 \cdot g_k + 1,05 \cdot q_{kk4} + 1,5 \cdot q_{kv} + 0,9 \cdot q_{ks} = 53,68 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y} = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{kv} = 35,35 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{kk} + 0,9 \cdot q_{kv} + 0,9 \cdot q_{ks} = 1464,37 \text{ kN}$$

Základová patka P2:

$$M_{Ed,x} = 1,35 \cdot g_k + 1,05 \cdot q_{kk3} + 1,5 \cdot q_{kv} + 0,9 \cdot q_{ks} = 108,40 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y} = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{kv} = 18,65 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{kk1} + 0,9 \cdot q_{kv} + 0,9 \cdot q_{ks} = 692,86 \text{ kN}$$

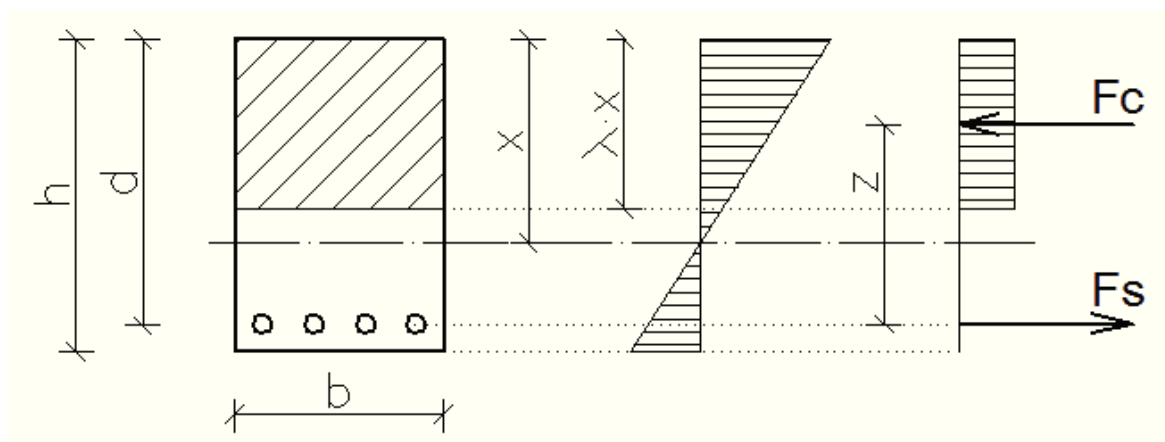
### 3.2 Statické posouzení

#### Metoda mezní rovnováhy betonu

##### Obdélníkový průřez jednostranně vyztužený

Posuzujeme průřez (viz obr. 50) na účinky návrhového zatížení. Jsou dány hodnoty:

- geometrie průřezu: šířka  $b$ , výška  $h$
- materiálové charakteristiky pro beton  $f_{cd}$ , pro ocel  $f_{yd}$
- počet a průměr výztuže ( $\rightarrow A_s$ )
- moment od návrhového zatížení  $M_{Ed}$



Obr. č. 50 – Obdélníkový průřez jednostranně vyztužený

Síla ve výztuži  $F_s = A_s \cdot f_{yd}$

Síla v tlačném betonu  $F_c = A_c \cdot f_{cd} = \lambda \cdot x \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}$

Účinná výška průřezu (vzdálenost osy výztuže od tlačného okraje průřezu)

$$d = h - c_{nom} - \phi/2$$

Rovnováha sil v průřezu  $F_c = F_s$

$$A_c \cdot f_{cd} = F_s$$

$$\lambda \cdot x \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} = F_s$$

Výška tlačné oblasti (= vzdálenost neutrální osy od tlačného okraje průřezu)

$$x = F_s / \lambda \cdot x \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}$$

$\lambda$  ... součinitel definující výšku tlačné zóny ( $\lambda = 0,8$  pro  $f_{ck} \leq 50\text{MPa}$ , jinak vztah v EC)

$\eta$  ... součinitel tlakové pevnosti betonu ( $\eta = 1,0$  pro  $f_{ck} \leq 50\text{MPa}$ , jinak vztah v EC)

Únosnost průřezu  $M_{Rd} = F_s \cdot z$

Podmínka rovnováhy  $M_{Rd} \geq M_{Ed}$

**Materiálové vlastnosti**

Beton C30/37  
 $f_{ck} = 30,0\text{MPa}$   
 $\gamma_c = 1,5$   
 $f_{ctm} = 2,9\text{MPa}$   
 $f_{ctk;0,05} = 2,0\text{MPa}$   
 $E_{cm} = 32,0\text{GPa}$

Ocel B550B  
 $f_{yk} = 550,0\text{MPa}$   
 $\gamma_s = 1,15$   
 $E_s = 200,0\text{GPa}$

**Nominální krytí výztuže**

Třída konstrukce S4 (návrhová životnost 50let)  
Prostředí XC1 (schodiště, podestové nosníky, průvlaky, sloupy)  
 $\rightarrow c_{nom} = 25\text{mm}$   
XC4 (základové patky)  
 $\rightarrow c_{nom} = 40\text{mm}$

### 3.2.1 Schodiště

V nástupním i výstupním rameni schodiště vznikají totožné maximální vnitřní síly  
→ jednotné statické posouzení.

<b>Rozměry</b>	<b><math>h = 0,2\text{m}</math></b>
	<b><math>b = 1,5\text{m}</math></b>
Max. vnitřní síly	$M_{Ed}^+ = 79,81\text{kNm}$
	$M_{Ed}^- = 0,0\text{kNm}$
Nominální krytí výztuže	$c_{nom} = 25\text{mm}$

#### Mezní stav únosnosti

##### Návrh a posouzení výztuže při dolním okraji prvku

<b>Návrh</b>	<b><math>\phi = 16\text{mm}</math></b>
	<b><math>n = 10\text{ks}</math></b>
Plocha výztuže	$A_s = n \cdot \pi \cdot (\phi/2)^2 = 10 \cdot 3,142 \cdot (0,016/2)^2 = 0,002011\text{m}^2$
Síla ve výztuži	$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 0,002011 \cdot 550 \cdot 10^3 / 1,15 = 961,601\text{kN}$
Výška tlačené oblasti betonu	$x = F_s / (0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}) = 961,601 \cdot 1,5 / (0,8 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 30,0 \cdot 10^3) = 0,040\text{m}$
Účinná výška průřezu	$d = h - c_{nom} - \phi/2 = 0,2 - 0,025 - 0,016/2 = 0,167\text{m}$
Posouzení únosnosti	$M_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4x) = 961,601 \cdot (0,167 - 0,4 \cdot 0,040) = 145,176\text{kNm}$
	$M_{Rd} \geq M_{Ed}$
	$145,176\text{kNm} > 79,810\text{kNm}$ <span style="float: right;">vyhovuje</span>

#### Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,min} = \max(0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b_t \cdot d / f_{yk}; 0,0013 \cdot b_t \cdot d = \\ = 0,26 \cdot 2,9 \cdot 1,5 \cdot 0,167 / 550; 0,0013 \cdot 1,5 \cdot 0,167 = \\ = 0,000343; 0,000326) = 0,000343\text{m}^2$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1,5 \cdot 0,2 = 0,012000\text{m}^2$$

$$A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,max}$$

$$0,000343\text{m}^2 < 0,002011\text{m}^2 < 0,012000\text{m}^2 \quad \text{vyhovuje}$$



## Omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = x/d = 0,040/0,167 = 0,240$$

$$\xi_{bal} = 700/(700 + f_{yd}) = 700/(700 + 550/1,15) = 0,594$$

$$\xi_{bal} \geq \xi$$

$$0,594 > 0,240$$

vyhovuje

## Maximální osová vzdálenost prutů

$$s_{o,max} = \min(2h; 0,250 = 2 \cdot 0,200; 0,250 = 0,400; 0,250) = 0,250m$$

$$s_o = (b - 2c_{nom} - \phi) / (n - 1) = (1,5 - 2 \cdot 0,025 - 0,016) / (10 - 1) = 0,159m$$

$$s_{o,max} \geq s_o$$

$$0,250m > 0,159m$$

vyhovuje

## Minimální světlá vzdálenost mezi pruty

$$s_s = s_o - \phi = 0,159 - 0,016 = 0,143m$$

$$s_{s,min} = \max(k_1 \cdot \phi; d_g + k_2; 0,020 = 1 \cdot 0,016; 0,016 + 0,005; 0,020 = 0,016; 0,021; 0,020) = 0,021m$$

$$s_s \geq s_{s,min}$$

$$0,143m > 0,021m$$

vyhovuje

## Kotevní délka

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0,05} / \gamma_c = 1 \cdot 2,0 / 1,5 = 1,333$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,333 = 3MPa$$

$$l_{b,rqd} = (\phi/4) \cdot f_{yd} / f_{bd} = (16/4) \cdot 550 / 1,15 / 3,0 = 0,638m$$

$$l_b = 0,640m$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\phi; 0,1 = 0,3 \cdot 0,638; 10 \cdot 0,016; 0,1 = 0,191; 0,16; 0,1) = 0,191m$$

$$l_b \geq l_{b,rqd}$$

$$0,640m > 0,191m$$

vyhovuje

## Návrh a posouzení výztuže při horním okraji prvku

## Návrh

$$\phi = 10mm$$

$$n = 7ks$$

## Plocha výztuže

$$A_s = n \cdot \pi \cdot (\phi/2)^2 = 10 \cdot 3,142 \cdot (0,010/2)^2 = 0,000550m^2$$

## Síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 0,000550 \cdot 550 \cdot 10^3 / 1,15 = 262,938kN$$

## Výška tlačené oblasti betonu

$$x = F_s / (0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}) = 262,938 \cdot 1,5 / (0,8 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 30,0 \cdot 10^3) = 0,011m$$

Účinná výška průřezu

$$d = h - c_{\text{nom}} - \phi/2 = 0,2 - 0,025 - 0,010/2 = 0,170\text{m}$$

Únosnost

$$M_{\text{Rd}} = F_s \cdot (d - 0,4x) = 262,938 \cdot (0,170 - 0,4 \cdot 0,011) = 43,547\text{kNm}$$

### Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže

$$\begin{aligned} A_{s,\text{min}} &= \max(0,26 \cdot f_{\text{ctm}} \cdot b_t \cdot d / f_{yk}; 0,0013 \cdot b_t \cdot d = \\ &= 0,26 \cdot 2,9 \cdot 1,5 \cdot 0,170 / 550; 0,0013 \cdot 1,5 \cdot 0,170 = \\ &= 0,000350; 0,000332) = 0,000350\text{m}^2 \end{aligned}$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s,\text{max}} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1,5 \cdot 0,2 = 0,012000\text{m}^2$$

$$A_{s,\text{min}} \leq A_s \leq A_{s,\text{max}}$$

$$0,000350\text{m}^2 < 0,000550\text{m}^2 < 0,012000\text{m}^2 \quad \text{vyhovuje}$$

Omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = x/d = 0,011/0,170 = 0,064$$

$$\xi_{\text{bal}} = 700 / (700 + f_{yd}) = 700 / (700 + 550/1,15) = 0,594$$

$$\xi_{\text{bal}} \geq \xi$$

$$0,594 > 0,064 \quad \text{vyhovuje}$$

Maximální osová vzdálenost prutů

$$s_{o,\text{max}} = \min(2h; 0,250 = 2 \cdot 0,200; 0,250 = 0,400; 0,250) = 0,250\text{m}$$

$$s_o = (b - 2c_{\text{nom}} - \phi) / (n - 1) = (1,5 - 2 \cdot 0,025 - 0,010) / (7 - 1) = 0,240\text{m}$$

$$s_{o,\text{max}} \geq s_o$$

$$0,250\text{m} > 0,240\text{m} \quad \text{vyhovuje}$$

Minimální světlá vzdálenost mezi pruty

$$s_s = s_o - \phi = 0,240 - 0,010 = 0,230\text{m}$$

$$\begin{aligned} s_{s,\text{min}} &= \max(k_1 \cdot \phi; d_g + k_2; 0,020 = 1 \cdot 0,016; 0,016 + 0,005; 0,020 = \\ &= 0,016; 0,021; 0,020) = 0,021\text{m} \end{aligned}$$

$$s_s \geq s_{s,\text{min}}$$

$$0,230\text{m} > 0,021\text{m} \quad \text{vyhovuje}$$

Kotevní délka

$$f_{\text{ctd}} = \alpha_{\text{ct}} \cdot f_{\text{ctk};0,05} / \gamma_c = 1 \cdot 2,0 / 1,5 = 1,333$$

$$f_{\text{bd}} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{\text{ctd}} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,333 = 3\text{MPa}$$

$$l_{b,\text{reqd}} = (\phi/4) \cdot f_{yd} / f_{\text{bd}} = (10/4) \cdot 550 / 1,15/3,0 = 0,399\text{m}$$

$$l_b = 0,400\text{m}$$

$$l_{b,min} = \max (0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\phi; 0,1 = 0,3 \cdot 0,400; 10 \cdot 0,010; 0,1 = 0,120; 0,1; 0,1) = 0,120\text{m}$$

$$l_b \geq l_{b,rqd}$$

$$0,400\text{m} > 0,120\text{m} \quad \text{vyhovuje}$$

### Rozdělovací výztuž

**Návrh**  $\phi = 10\text{mm}$   
 $a = 180\text{mm}$

### Konstrukční zásady

Minimální vyztužení

$$A_{sr,nut} = 0,2A_s = 0,2 \cdot 0,02011 = 0,000402\text{m}^2$$

$$A_s = b \cdot \pi \cdot (0,010/2)^2 / a = 1,5 \cdot 3,142 \cdot (0,010/2)^2 / 0,18 = 0,000436\text{m}^2$$

$$A_s \geq A_{sr,nut}$$

$$0,000436\text{m}^2 \geq 0,000402\text{m}^2 \quad \text{vyhovuje}$$

Vzdálenost prutů  $s_{r,max} = \min (3h; 0,4 = 3 \cdot 0,2; 0,4) = 0,400\text{m}$

$$s_{r,max} \geq s$$

$$0,400\text{m} > 0,180\text{m} \quad \text{vyhovuje}$$

### Mezní stav použitelnosti

Plocha výztuže při dolním okraji

$$A_{sd} = A_{s1} = 0,002011\text{m}^2$$

Plocha výztuže při horním okraji

$$A_{sh} = 0,000550\text{m}^2$$

$$A_{s2} = A_{sh} - A_{sd} = -0,001461\text{m}^2 < 0,000\text{m}^2 \rightarrow 0,000\text{m}^2$$

Účinná výška průřezu

$$d_1 = 0,167\text{m}$$

Poměr modulů pružnosti

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 200 / 32 = 6,25$$

Průřezové charakteristiky

Plocha  $A_i^I = A_c^I + \alpha_e \cdot A_{s1} = 1,5 \cdot 0,2 + 6,25 \cdot 0,002011 = 0,312566\text{m}^2$

Poloha n.o.  $a_{gi} = (A_c \cdot a_c + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot d_1) / A_i^I =$

$$= (1,5 \cdot 0,2 \cdot 0,1 + 6,25 \cdot 0,002011 \cdot 0,167) / 0,312566 = 0,103\text{m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Moment setrvačnosti } I_i^I &= I_c^I + A_c^I \cdot (a_{gi} - a_c)^2 + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot (a_{gi} - d_1)^2 = \\
 &= 1,5 \cdot 0,2^3 / 12 + 1,5 \cdot 0,2 \cdot (0,103 - 0,1)^2 + 6,25 \cdot 0,002011 \cdot (0,103 - 0,137)^2 \\
 &= 0,001054 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

### Ideální průřez bez trhlin

Charakteristická hodnoty vnitřních sil

$$N_{Ek} = 0,0 \text{ kN}$$

$$M_{Ek} = 57,41 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Výpočet napětí } \sigma_{c1} &= N_{Ek} / A_i^I + M_{Ek} \cdot (h - a_{gi}) / I_i^I = 0 + 57,41 \cdot (0,2 - 0,103) / 0,001054 = \\
 &= 5299 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

$$\sigma_{c1} \geq f_{ctm}$$

$$5,3 > 2,9 \text{ MPa}$$

vzniknou trhliny

### Ideální průřez s trhlinou

Výška oblasti neporušené trhlinami

$$0,5 \cdot b \cdot x^2 + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot x - \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot d_1 = 0$$

$$x = 0,045 \text{ m}$$

Průřezové charakteristiky

$$\text{Plocha } A_i^II = A_c^II + \alpha_e \cdot A_{s1} = 1,5 \cdot 0,045 + 6,25 \cdot 0,002011 = 0,080341 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Poloha n.o. } a_{gi} &= (A_c \cdot a_c + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot d_1) / A_i^II = \\
 &= (1,5 \cdot 0,045 \cdot 0,045 / 2 + 6,25 \cdot 0,002011 \cdot 0,167) / 0,080341 = 0,045 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Moment setrvačnosti } I_i^II &= I_c^II + A_c^II \cdot (a_{gi} - a_c)^2 + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot (a_{gi} - d_1)^2 = \\
 &= 1,5 \cdot 0,045^3 / 12 + 1,5 \cdot 0,045 \cdot (0,045 - 0,045)^2 + 6,25 \cdot 0,002011 \cdot (0,045 - 0,137)^2 = 0,000233 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

$$\text{Výpočet napětí } \sigma_{c2} = N_{Ek} / A_i^II + M_{Ek} \cdot a_{gi} / I_i^II = 0 + 57,41 \cdot 0,045 / 0,000233 = 11151 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{Ek,c} = k_1 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 30 = 18,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c2} \leq \sigma_{Ek,c}$$

$$11,151 < 18,0 \text{ MPa}$$

vyhovuje

$$\sigma_{s1} = \alpha_e \cdot (N_{Ek} / A_i^II + M_{Ek} \cdot (d_1 - a_{gi}) / I_i^II) =$$

$$= 6,25 \cdot (0 + 57,41 \cdot (0,167 - 0,045) / 0,000233) = 187925 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{Ek,s} = k_3 \cdot f_{yk} = 0,8 \cdot 550 = 440,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s1} \leq \sigma_{Ek,s}$$

$$187,925 < 440,0 \text{ MPa}$$

vyhovuje

**Omezení trhlin**

Souč. zohledňující rozdělení napětí v průřezu před vznikem trhlin a změnu ramene vn. sil

$$k_c = 0,4$$

Souč. vyjadřující účinek nerovnoměrného rozdělení vnitřních rovnovážných napětí

$$k = 1$$

Minimální průřezová plocha výztuže

$$A_{s,min} = k_c * k * f_{ct,eff} * A_{ct} / \sigma_s = 0,4 * 1 * 2,9 * 10^3 * 1,5 * 0,2 / 550,10^3 = 0,000316 m^2$$

$$A_s \geq A_{s,min}$$

$$0,002011 > 0,000316 m^2$$

Kvazi stálá kombinace zatížení

$$g_k = 8,3 kN/m$$

$$q_k = 4,5 kN/m$$

$$p_{kvazi} = g_k + \psi_{02} * q_k = 8,3 * 0,3 * 4,5 = 9,65 kN/m$$

$$M_{Ek,kvazi} = p_{kvazi} * l^2 / 8 = 9,65 * (1,65 + 3,63)^2 / 8 = 33,629 kNm$$

$$\sigma_{s1} = \alpha_e * M_{Ek} * (d - a_{gi}) / I_i^{II} = 6,25 * 33,629 * (0,167 - 0,045) / 0,000233 = 110,081 MPa$$

Maximální šířka trhlin

$$w_{k,max} = 0,4 mm$$

Max průměr prutů pro omezení šířky trhlin

$$\phi_s^* = 40 mm$$

$$\phi_s = \phi_s^* \frac{f_{ct,eff}}{2,9} * \frac{k_c * h_{cr}}{2 * (h - d)} = \frac{40 * 2,9}{2,9} * \frac{0,4 * 0,2 / 2}{2 * (0,2 - 0,167)} = 24,242 mm$$

Výpočet šířky trhlin

$$h_{c,eff} = \min (2,5 * (h - d); (h - x) / 3; h / 2 = 2,5 * (0,2 - 0,167); (0,2 - 0,045) / 3; 0,2 / 2 = 0,083; 0,052; 0,100) = 0,052 m$$

$$\rho_{p,eff} = A_{s1} / A_{c,eff} = 0,002011 / 0,052 * 0,2 / 2 = 0,390$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e * \rho_{p,eff})}{E_s} = \frac{110,081 - 0,4 \frac{2,9}{0,390} (1 + 6,25 * 0,390)}{200 * 10^3}$$

$$= 0,000499$$

$$0,6 * \sigma_s / E_s = 0,6 * 110,081 / 200 * 10^3 = 0,000330$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \geq 0,6 * \sigma_s / E_s$$

$$0,000499 > 0,000330$$

vyhovuje

Max. vzdálenost trhlin

$$s_{r,max} = k_3 * c + k_1 * k_2 * k_4 * \phi / \rho_{p,eff} =$$

$$= 3,4 * 0,025 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 0,016 / 0,390 = 0,092m$$

Šířka trhlin

$$w_k = s_{r,max} * (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 0,092 * 0,000499 = 0,046mm$$

$$w_{k,max} \geq w_k$$

$$0,4 \geq 0,046mm$$

vyhovuje

### Omezení průhybu

$$\rho_0 = 10^{-3} * f_{ck}^{0,5} = 10^{-3} * 30^{0,5} = 0,005$$

$$\rho = A_{s1} / b * d = 0,002011 / 1,5 * 0,167 = 0,008026$$

$$\rho^i = A_{s2} / b * d = 0,000$$

$$\left(\frac{l}{d}\right)_{mezní} = K \left[ 11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho^i} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\frac{\rho^i}{\rho_0}} \right] =$$

$$= 1,3 * \left[ 11 + 1,5 \sqrt{30} \frac{0,005}{0,008026} + \frac{1}{12} \sqrt{30} \sqrt{\frac{0}{0,008026}} \right] = 21,588$$

$$l/d = 5,28 / 0,167 = 31,617$$

$$(l/d)_{mezní} \geq l/d$$

$$21,588 < 31,617$$

nevyhovuje, nutno posoudit průhyb

### Výpočet průhybu

Kritický ohybový moment

$$M_{cr} = f_{ctm} * I_i^1 / (h - a_{gi}) = 2,2 * 10^3 * 0,001054 / (0,2 - 0,103) = 31,416kNm$$

Rozdělovací souč.

$$\zeta = 1 - \beta * (M_{cr} / M_{Ek})^2 = 1 - 0,5 * (31,416 / 33,629)^2 = 0,564$$

Výpočet průhybu, bez zohlednění dotvarování

Bez trhlin

$$f_{kvazi}^I = 5 * p_{kvazi} * l^4 / 384 * E_{cm} * I_i^I =$$

$$= 5 * 9,65 * 5,28^4 / 384 * 32 * 10^6 * 0,001054 = 0,002895m$$

S trhlami

$$f_{kvazi}^{II} = 5 * p_{kvazi} * l^4 / 384 * E_{cm} * I_i^{II} =$$

$$= 5 * 9,65 * 5,28^4 / 384 * 32 * 10^6 * 0,000233 = 0,013120m$$

Výsledný průhyb

$$f_{kvazi} = \zeta * f_{kvazi}^{II} + (1 - \zeta) * f_{kvazi}^I =$$

$$0,564 * 0,013120 + (1 - 0,564) * 0,002895 = 0,004196m$$

$$f_{lim1} = l/500 = 5,28 / 500 = 0,010560m$$

$$f_{lim1} \geq f_{kvazi}$$

$$0,010560 > 0,004196m$$

vyhovuje

Výpočet průhybu, zohlednění dotvarování

Bez trhlin  $f_{kvazi}^I = 5 \cdot p_{kvazi} \cdot l^4 / 384 \cdot E_{cm} \cdot I_i^I =$   
 $= 5 \cdot 9,65 \cdot 5,28^4 / 384 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 0,001054 = 0,009264m$

S trhlami  $f_{kvazi}^{II} = 5 \cdot p_{kvazi} \cdot l^4 / 384 \cdot E_{cm} \cdot I_i^{II} =$   
 $= 5 \cdot 9,65 \cdot 5,28^4 / 384 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 0,000233 = 0,041985m$

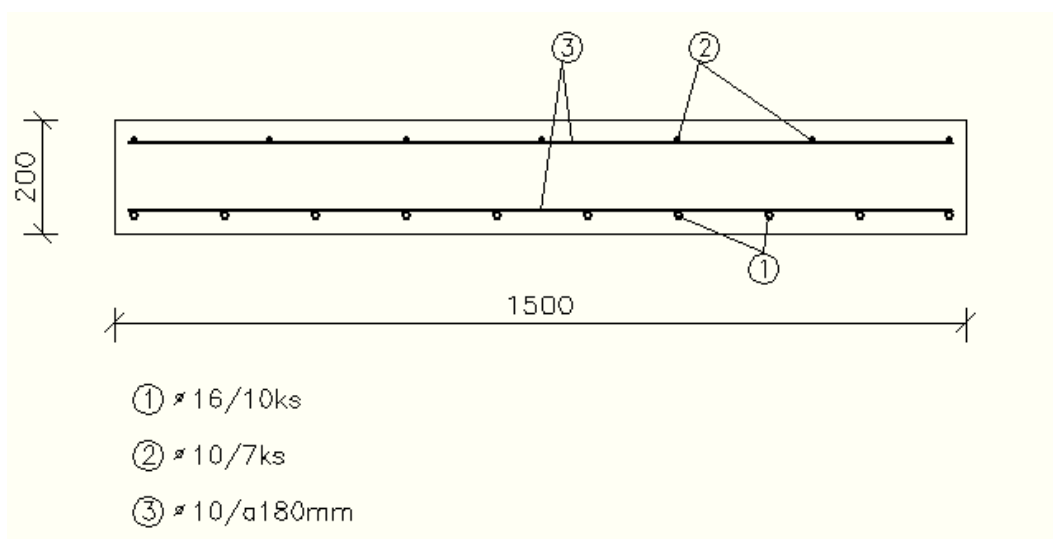
Výsledný průhyb  $f_{kvazi} = \zeta \cdot f_{kvazi}^{II} + (1 - \zeta) \cdot f_{kvazi}^I =$   
 $0,564 \cdot 0,041985 + (1 - 0,564) \cdot 0,009264 = 0,013428m$

$$f_{lim1} = l/500 = 5,28/250 = 0,021120m$$

$$f_{lim1} \geq f_{kvazi}$$

$$0,021120 > 0,013428m$$

vyhovuje



Obr. č. 51 – návrh vyztužení schodiště

### 3.2.2 Průvlak

#### Průvlak T1

Rozměry	$h = 0,45\text{m}$
	$b = 0,3\text{m}$
Max. vnitřní síly	$M_{Ed}^+ = 214,16\text{kNm}$
	$M_{Ed}^- = 367,24\text{kNm}$
	$V_{Ed} = 292,94\text{kN}$
Nominální krytí výztuže	
	$c_{nom} = 25\text{mm}$

#### Mezní stav únosnosti

##### Návrh a posouzení výztuže při dolním okraji prvku

Návrh	$\phi = 20\text{mm}$
	$n = 4\text{ks}$
Plocha výztuže	$A_s = n \cdot \pi \cdot (\phi/2)^2 = 4 \cdot 3,142 \cdot (0,020/2)^2 = 0,001257\text{m}^2$
Síla ve výztuži	$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 0,001257 \cdot 550 \cdot 10^3 / 1,15 = 601,000\text{kN}$
Výška tlačené oblasti betonu	
	$x = F_s / (0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}) = 601,000 \cdot 1,5 / (0,8 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 30,0 \cdot 10^3) = 0,125\text{m}$
Účinná výška průřezu	
	$d = h - c_{nom} - \phi/2 = 0,45 - 0,025 - 0,020/2 = 0,415\text{m}$
Posouzení únosnosti	$M_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4x) = 601,000 \cdot (0,415 - 0,4 \cdot 0,125) = 219,315\text{kNm}$
	$M_{Rd} \geq M_{Ed}$
	$219,315\text{kNm} > 214,160\text{kNm}$ <span style="float: right;">vyhovuje</span>

#### **Konstrukční zásady**

##### Minimální plocha výztuže

$$A_{s,min} = \max(0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b_t \cdot d / f_{yk}; 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,26 \cdot 2,9 \cdot 0,3 \cdot 0,415 / 550; 0,0013 \cdot 0,3 \cdot 0,415 = 0,000171; 0,000162) = 0,000171\text{m}^2$$

##### Maximální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,45 \cdot 0,3 = 0,005400\text{m}^2$$

$$A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,max}$$

$$0,000171\text{m}^2 < 0,001257\text{m}^2 < 0,005400\text{m}^2 \quad \text{vyhovuje}$$



## Omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = x/d = 0,125/0,415 = 0,302$$

$$\xi_{bal} = 700/(700 + f_{yd}) = 700/(700 + 550/1,15) = 0,594$$

$$\xi_{bal} \geq \xi$$

$$0,594 > 0,302$$

vyhovuje

## Maximální osová vzdálenost prutů

$$s_{o,max} = \min(2h; 0,250 = 2 \cdot 0,450; 0,250 = 0,900; 0,250) = 0,250m$$

$$s_o = (b - 2c_{nom} - \phi) / (n - 1) = (0,3 - 2 \cdot 0,025 - 0,020) / (4 - 1) = 0,077m$$

$$s_{o,max} \geq s_o$$

$$0,250m > 0,077m$$

vyhovuje

## Minimální světlá vzdálenost mezi pruty

$$s_s = s_o - \phi = 0,077 - 0,020 = 0,057m$$

$$s_{s,min} = \max(k_1 \cdot \phi; d_g + k_2; 0,020 = 1 \cdot 0,020; 0,016 + 0,005; 0,020 = 0,020; 0,021; 0,020) = 0,021m$$

$$s_s \geq s_{s,min}$$

$$0,057m > 0,021m$$

vyhovuje

## Kotevní délka

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0,05} / \gamma_c = 1 \cdot 2,0 / 1,5 = 1,333$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,333 = 3MPa$$

$$l_{b,rqd} = (\phi/4) \cdot f_{yd} / f_{bd} = (20/4) \cdot 550 / 1,15 / 3,0 = 0,797m$$

$$l_b = 0,800m$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\phi; 0,1 = 0,3 \cdot 0,797; 10 \cdot 0,020; 0,1 = 0,239; 0,2; 0,1) = 0,239m$$

$$l_b \geq l_{b,rqd}$$

$$0,800m > 0,239m$$

vyhovuje

## Návrh a posouzení výztuže při horním okraji prvku

## Návrh

$$\phi = 28mm$$

$$n = 4ks$$

## Plocha výztuže

$$A_s = n \cdot \pi \cdot (\phi/2)^2 = 4 \cdot 3,142 \cdot (0,028/2)^2 = 0,002463m^2$$

## Síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 0,002463 \cdot 550 \cdot 10^3 / 1,15 = 1177,961kN$$

## Výška tlačené oblasti betonu

$$x = F_s / (0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}) = 1177,961 \cdot 1,5 / (0,8 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 30,0 \cdot 10^3) = 0,245m$$

Účinná výška průřezu

$$d = h - c_{\text{nom}} - \phi / 2 = 0,45 - 0,025 - 0,028 / 2 = 0,411 \text{ m}$$

Posouzení únosnosti  $M_{\text{Rd}} = F_s \cdot (d - 0,4x) = 1177,961 \cdot (0,411 - 0,4 \cdot 0,245) = 368,509 \text{ kNm}$

Redukce momentu  $F_{\text{Ed, sup}} = 1409,390 \text{ kN}$

$$\Delta M_{\text{Ed}} = F_{\text{Ed, sup}} \cdot t / 8 = 1409,390 \cdot 0,3 / 8 = 52,852 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Ed}} = M_{\text{Ed}} - \Delta M_{\text{Ed}} = 367,24 - 52,852 = 314,388 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Rd}} \geq M_{\text{Ed}}$$

$$368,509 \text{ kNm} > 314,388 \text{ kNm} \quad \text{vyhovuje}$$

### Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže

$$\begin{aligned} A_{s, \min} &= \max (0,26 \cdot f_{\text{ctm}} \cdot b_t \cdot d / f_{yk}; 0,0013 \cdot b_t \cdot d = \\ &= 0,26 \cdot 2,9 \cdot 0,3 \cdot 0,411 / 550; 0,0013 \cdot 0,3 \cdot 0,411 = \\ &= 0,000169; 0,000160) = 0,000169 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s, \max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,3 \cdot 0,45 = 0,005400 \text{ m}^2$$

$$A_{s, \min} \leq A_s \leq A_{s, \max}$$

$$0,000169 \text{ m}^2 < 0,002463 \text{ m}^2 < 0,005400 \text{ m}^2 \quad \text{vyhovuje}$$

Omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = x / d = 0,245 / 0,411 = 0,597$$

$$\xi_{\text{bal}} = 700 / (700 + f_{yd}) = 700 / (700 + 550 / 1,15) = 0,594$$

$$\xi_{\text{bal}} \geq \xi$$

$$0,594 \approx 0,597 \quad \text{vyhovuje}$$

Maximální osová vzdálenost prutů

$$s_{o, \max} = \min (2h; 0,250 = 2 \cdot 0,450; 0,250 = 0,900; 0,250) = 0,250 \text{ m}$$

$$s_o = (b - 2c_{\text{nom}} - \phi) / (n - 1) = (0,3 - 2 \cdot 0,025 - 0,028) / (4 - 1) = 0,074 \text{ m}$$

$$s_{o, \max} \geq s_o$$

$$0,250 \text{ m} > 0,074 \text{ m} \quad \text{vyhovuje}$$

Minimální světlá vzdálenost mezi pruty

$$s_s = s_o - \phi = 0,074 - 0,028 = 0,046 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} s_{s, \min} &= \max (k_1 \cdot \phi; d_g + k_2; 0,020 = 1 \cdot 0,028; 0,016 + 0,005; 0,020 = \\ &= 0,028; 0,021; 0,020) = 0,028 \text{ m} \end{aligned}$$

$$s_s \geq s_{s, \min}$$

$$0,046 \text{ m} > 0,028 \text{ m} \quad \text{vyhovuje}$$

**Kotevní délka**

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} * f_{ctk;0,05} / \gamma_c = 1 * 2,0 / 1,5 = 1,333$$

$$f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd} = 2,25 * 1 * 1 * 1,333 = 3 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = (\phi/4) * f_{yd} / f_{bd} = (28/4) * 550 / 1,15/3,0 = 1,116 \text{ m}$$

$$l_b = 1,120 \text{ m}$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 * l_{b,rqd}; 10\phi; 0,1) = 0,3 * 1,116; 10 * 0,028; 0,1 = 0,335; 0,28; 0,1) = 0,335 \text{ m}$$

$$l_b \geq l_{b,rqd}$$

$$1,120 \text{ m} > 0,335 \text{ m}$$

vyhovuje

**Únosnost ve smyku**

Návrhová únosnost prvku bez smykové výztuže

$$\rho_1 = A_{sl} / b_w * d = 0,002463 / 0,3 * 0,411 = 0,020$$

$$k = 1 + (200/d)^{0,5} = 1 + (200/411)^{0,5} = 1,698$$

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} * k (100 * \rho_1 * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 * \sigma_{cp} \right] * b_w * d =$$

$$= (0,12 * 1,698 * (100 * 0,02 * 30)^{1/3} + 0) * 0,3 * 0,411 = 92,292 \text{ kN}$$

Minimální smyková únosnost bez smykové výztuže

$$v_{min} = 0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0,035 * 1,698^{3/2} * 30^{1/2} = 0,424$$

$$V_{Rd,min} = v_{min} * b_w * d = 0,424 * 0,3 * 0,411 * 1000 = 52,280 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,min} \geq V_{Ed}$$

$$52,280 < 292,940 \text{ kN} \quad \text{je nutno navrhnout smykovou výztuž}$$

Posouvající síla, kterou přeneše smyková výztuž

**Návrh**

$$\phi_{tr} = 8 \text{ mm}$$

$$n = 4 - \text{střižný}$$

$$s_t = 120 \text{ mm}$$

Plocha smykové výztuže

$$A_{sw} = n * \pi * (\phi/2)^2 = 4 * 3,142 * (0,008/2)^2 = 0,000201 \text{ m}^2$$

$$V_{Rd,s} = A_{sw} * z * f_{ywd} / s_t = 0,000201 * 0,9 * 550 * 10^3 / 0,12 = 296,413 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed}$$

$$296,413 > 292,940 \text{ kN}$$

vyhovuje

Minimální únosnost ve smyku

$$v_1 = 0,6 * (1 - f_{ck}/250) = 0,6 * (1 - 30/250) = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} * b_w * z * v_1 * f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta) =$$

$$= 1 * 0,3 * 0,9 * 0,411 * 30 * 10^3 / 1,5 * (1 + 1) = 585,922 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$$

$$585,922 > 296,413 \text{ kN}$$

platí předchozí posudek

### Konstrukční zásady

Minimální stupeň vyztužení smykovou výztuží

$$\rho_{sw} = A_{sw}/s_t * b_w * \sin \alpha = 0,000201/0,12 * 0,3 * 1 = 0,005585 \text{ m}^2$$

$$\rho_{sw,min} = 0,08 * f_{ck}^{0,5} * f_{yk} = 0,08 * 30^{0,5} * 550 = 0,000797 \text{ m}^2$$

$$\rho_{sw} \geq \rho_{sw,min}$$

$$0,005585 > 0,000797 \text{ m}^2$$

vyhovuje

Maximální vzdálenost mezi větvemi třmínků

$$s_{t,max} = 0,75 * d = 0,75 * 0,411 = 0,308 \text{ m}$$

$$s_t = (b - 2 * c_{nom} + \phi_{tr}) / (n - 1) = (0,3 - 2 * 0,025 - 0,008) / (4 - 1) = 0,081 \text{ m}$$

$$s_{t,max} \geq s_t$$

$$0,308 > 0,081 \text{ m}$$

vyhovuje

### Mezní stav použitelnosti

Plocha výztuže při dolním okraji

$$A_{sd} = A_{s1} = 0,001257 \text{ m}^2$$

Plocha výztuže při horním okraji

$$A_{sh} = 0,002463 \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = A_{sh} - A_{sd} = 0,002463 - 0,001257 = 0,001206 \text{ m}^2$$

Účinná výška průřezu

$$d_1 = 0,415 \text{ m}$$

$$d_2 = 0,039 \text{ m}$$

Poměr modulů pružnosti

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 200 / 32 = 6,25$$

Průřezové charakteristiky

Plocha

$$A_i^I = A_c^I + \alpha_e * (A_{s1} + A_{s2}) = 0,45 * 0,3 + 6,25 * (0,001257 + 0,002463) = 0,150394 \text{ m}^2$$

Poloha n.o.

$$a_{gi} = (A_c * a_c + \alpha_e * (A_{s1} * d_1 + A_{s2} * d_2)) / A_i^I = (0,45 * 0,3 * 0,225 + 6,25 * (0,001257 * 0,415 + 0,001206 * 0,039)) / 0,150394 = 0,226 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Moment setrvačnosti } I_i^I &= I_c^I + A_c^I \cdot (a_{gi} - a_c)^2 + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot (a_{gi} - d_1)^2 + \alpha_e \cdot A_{s2} \cdot (a_{gi} - d_2)^2 = \\ &= 0,3 \cdot 0,45^3 / 12 + 0,45 \cdot 0,3 \cdot (0,226 - 0,0,225)^2 + 6,25 \cdot 0,001257 \cdot (0,226 - 0,415)^2 + 6,25 \cdot 0,001206 \cdot (0,226 - 0,039)^2 = 0,002822 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

### Ideální průřez bez trhlin

Charakteristická hodnoty vnitřních sil

$$N_{Ek} = 0,0 \text{ kN}$$

$$M_{Ek} = 137,48 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{Výpočet napětí } \sigma_{c1} &= N_{Ek} / A_i^I + M_{Ek} \cdot (h - a_{gi}) / I_i^I = 0 + 137,48 \cdot (0,45 - 0,226) / 0,002822 = \\ &= 10,931 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{c1} \geq f_{ctm}$$

$$10,931 \text{ MPa} > 2,9 \text{ MPa}$$

vzniknou trhliny

### Ideální průřez s trhlinou

Výška oblasti neporušené trhlinami

$$0,5 \cdot b \cdot x^2 + \alpha_e \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot x - \alpha_e \cdot (A_{s1} \cdot d_1 + A_{s2} \cdot d_2) = 0$$

$$x = 0,110940 \text{ m}$$

Průřezové charakteristiky

$$\begin{aligned} \text{Plocha } A_i^{II} &= A_c^{II} + \alpha_e \cdot (A_{s1} + A_{s2}) = 0,111 \cdot 0,3 + 6,25 \cdot (0,001257 + 0,002463) = \\ &= 0,048676 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Poloha n.o. } a_{gi} &= (A_c \cdot a_c + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot d_1) / A_i^{II} = \\ &= (0,3 \cdot 0,111 \cdot 0,111 / 2 + 6,25 \cdot (0,001257 \cdot 0,415 + 0,001206 \cdot 0,039)) / 0,048676 = 0,110930 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Moment setrvačnosti } I_i^{II} &= I_c^{II} + A_c^{II} \cdot (a_{gi} - a_c)^2 + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot (a_{gi} - d_1)^2 + \alpha_e \cdot A_{s2} \cdot (a_{gi} - d_2)^2 = \\ &= 0,3 \cdot 0,111^3 / 12 + 0,111 \cdot 0,3 \cdot (0,111 - 0,111 / 2)^2 + \\ &+ 6,25 \cdot 0,001257 \cdot (0,111 - 0,415)^2 + 6,25 \cdot 0,001206 \cdot (0,111 - 0,039)^2 = \\ &= 0,000902 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$\text{Výpočet napětí } \sigma_{c2} = N_{Ek} / A_i^{II} + M_{Ek} \cdot a_{gi} / I_i^{II} = 0 + 137,48 \cdot 0,111 / 0,000902 = 16914 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{Ek,c} = k_1 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 30 = 18,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c2} \leq \sigma_{Ek,c}$$

$$16,914 \text{ MPa} < 18,0 \text{ MPa}$$

vyhovuje

$$\begin{aligned} \sigma_{s1} &= \alpha_e \cdot (N_{Ek} / A_i^{II} + M_{Ek} \cdot (d_1 - a_{gi}) / I_i^{II}) = \\ &= 6,25 \cdot (0 + 137,48 \cdot (0,415 - 0,111) / 0,000902) = 289761 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{Ek,s} = k_3 * f_{yk} = 0,8 * 550 = 440,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s1} \leq \sigma_{Ek,s}$$

$$289,761 < 440,0 \text{ MPa}$$

vyhovuje

### Omezení trhlin

Souč. zohledňující rozdělení napětí v průřezu před vznikem trhlin a změnu ramene vn. sil

$$k_c = 0,4$$

Souč. vyjadřující účinek nerovnoměrného rozdělení vnitřních rovnovážných napětí

$$k = 0,895$$

Minimální průřezová plocha výztuže

$$A_{s,min} = k_c * k * f_{ct,eff} * A_{ct} / \sigma_s = 0,4 * 1 * 2,9 * 10^3 * 0,45 * 0,3 / 550,10^3 = 0,000127 \text{ m}^2$$

$$A_s \geq A_{s,min}$$

$$0,001257 > 0,000127 \text{ m}^2$$

Kvazi stálá kombinace zatížení

$$g_k = 28,0 \text{ kN/m}$$

$$q_k = 18,0 \text{ kN/m}$$

$$p_{kvazi} = g_k + \psi_{02} * q_k = 28,0 * 0,3 + 18,0 = 33,4 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ek,kvazi} = p_{kvazi} * l^2 / 8 = 33,4 * 7,2^2 / 8 = 123,7 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{s1} = \alpha_e * M_{Ek} * (d - a_{gi}) / I_i^{II} = 6,25 * 123,7 * (0,415 - 0,111) / 0,000902 = 260,665 \text{ MPa}$$

Maximální šířka trhlin

$$w_{k,max} = 0,4 \text{ mm}$$

Max průměr prutů pro omezení šířky trhlin

$$\phi_s^* = 40 \text{ mm}$$

$$\phi_s = \phi_s^* \frac{f_{ct,eff}}{2,9} * \frac{k_c * h_{cr}}{2 * (h - d)} = \frac{40 * 2,9}{2,9} * \frac{0,4 * 0,45 / 2}{2 * (0,45 - 0,415)} = 51,429 \text{ mm}$$

Výpočet šířky trhlin

$$h_{c,eff} = \min (2,5 * (h - d); (h - x) / 3; h / 2) = 2,5 * (0,45 - 0,415);$$

$$(0,45 - 0,111) / 3; 0,45 / 2 = 0,088; 0,113; 0,225) = 0,088 \text{ m}$$

$$\rho_{p,eff} = A_{s1} / A_{c,eff} = 0,001257 / 0,088 * 0,45 / 2 = 0,064$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e * \rho_{p,eff})}{E_s} = \frac{260,665 - 0,4 \frac{2,9}{0,064} (1 + 6,25 * 0,064)}{200 * 10^3}$$

$$= 0,001176$$

$$0,6 \cdot \sigma_s / E_s = 0,6 \cdot 260,665 / 200 \cdot 10^3 = 0,000782$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \geq 0,6 \cdot \sigma_s / E_s$$

$$0,001176 > 0,000782$$

vyhovuje

Max. vzdálenost tržlin

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \phi / \rho_{p,eff} =$$

$$= 3,4 \cdot 0,025 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 0,020 / 0,064 = 0,138m$$

Šířka tržlin

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,138 \cdot 0,001176 = 0,163mm$$

$$w_{k,max} \geq w_k$$

$$0,4 \geq 0,163mm$$

vyhovuje

### Omezení průhybu

$$\rho_0 = 10^{-3} \cdot f_{ck}^{0,5} = 10^{-3} \cdot 30^{0,5} = 0,005$$

$$\rho = A_{s1} / b \cdot d = 0,001257 / 0,3 \cdot 0,415 = 0,010093$$

$$\rho^i = A_{s2} / b \cdot d = 0,001206 / 0,3 \cdot 0,415 = 0,009690$$

$$\left(\frac{l}{d}\right)_{mezni} = K \left[ 11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho^i} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\frac{\rho^i}{\rho_0}} \right] =$$

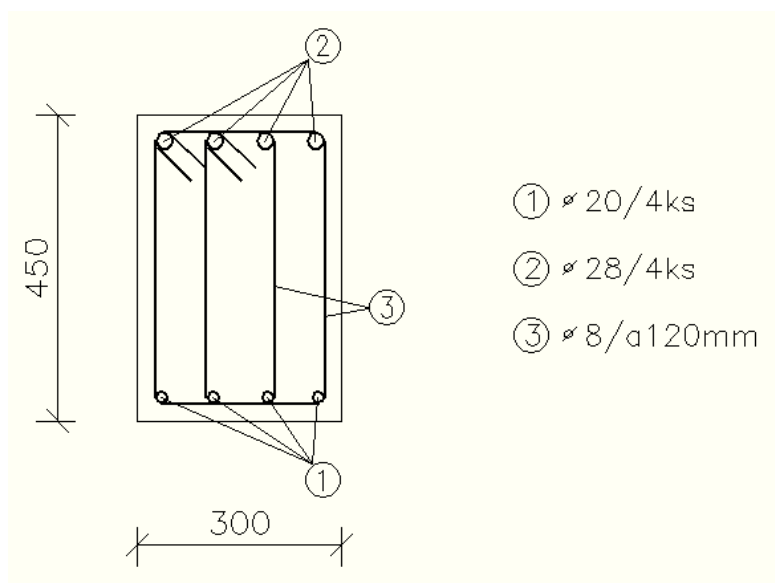
$$= 1,3 \cdot \left[ 11 + 1,5 \sqrt{30} \frac{0,005}{0,010093 - 0,009690} + \frac{1}{12} \sqrt{30} \sqrt{\frac{0,00969}{0,005}} \right] = 159,985$$

$$l/d = 7,2 / 0,415 = 17,349$$

$$(l/d)_{mezni} \geq l/d$$

$$159,985 > 17,349$$

vyhovuje, od dalšího výpočtu lze upustit



Obr. č. 52 – návrh vyztužení průvlaku T1

### 3.2.3 Sloup

#### Sloup S1

Rozměry

$$h = 0,3\text{m}$$

$$b = 0,3\text{m}$$

Max. vnitřní síly

$$M_{Ed,max} = 117,58\text{kNm}$$

$$N_{Ed,přisl.} = 628,28\text{kN}$$

$$N_{Ed,max} = 1464,37\text{kN}$$

$$M_{Ed,přisl.} = 18,08\text{kNm}$$

Nominální krytí výztuže

$$c_{nom} = 25\text{mm}$$

#### Mezní stav únosnosti

##### Vzpěrná únosnost

Poměrná normálová síla

$$n = N_{Ed}/A_c \cdot f_{cd} = 1464,37 / (0,3 \cdot 0,3 \cdot 30 / 1,5) = 0,814$$

Součinitele

$$A = 0,7$$

$$B = 1,1$$

$$C = 0,7$$

Limitní štíhlost

$$\lambda_{lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C / n^{0,5} = 20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7 / 0,814^{0,5} = 11,952$$

Délka prvku

$$l = 3,95\text{m}$$

Účinná délka

$$l_0 = 0,5 \cdot l = 0,5 \cdot 3,95 = 1,975\text{m}$$

Štíhlost

$$\lambda = l_0 \cdot 12^{0,5} / h = 1,975 \cdot 12^{0,5} / 0,3 = 22,805$$

$$\lambda \geq \lambda_{lim}$$

$$22,805 < 11,952$$

nevyhovuje, nutno dále posoudit

#### Metoda jmenovité křivosti

Hodnoty vnitřních sil od kvazistálého zatížení

$$M_{Ed,qp} = 58,92\text{kNm}$$

$$N_{Ed,qp} = 840,97\text{kN}$$

Výstřednost

$$e_i = l_0 / 400 = 1,975 / 400 = 0,005\text{m}$$

Ohybový moment zahrnující účinky imperfekcí

$$M_{0Ed} = M_{Ed1} + N_{Ed} \cdot e_i = 117,58 + 1464,37 \cdot 0,005 = 124,81\text{kNm}$$



Moment druhého řádu

Předpokládané vyztužení 1,2% plochy průřezu

$$\omega = A_s \cdot f_{yd} / A_c \cdot f_{cd} = 0,012 \cdot 550 / 1,15 / 0,3^2 \cdot 30 / 1,5 = 3,188$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 3,188 = 4,188$$

Poměrná normálová síla

$$n = N_{Ed} / (A_c \cdot f_{cd}) = 1464,37 / (0,3^2 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,5) = 0,814$$

$$n_{bal} = 0,4$$

Opravný součinitel  $K_r = (n_u - n) / (n_u - n_{bal}) = (4,188 - 0,814) / (4,188 - 0,4) = 0,891 < 1$

$$\beta = 0,35 + f_{ck} / 200 - \lambda / 150 = 0,35 + 30 / 200 - 22,805 / 150 = 0,348$$

$$\sigma_c = N_{Ed,qp} / A_c = 840,97 \cdot 10^{-3} / 0,3^2 = 9,344 \text{ MPa}$$

$$0,45 f_{ck(cube)} = 0,45 \cdot 37 = 16,650 \text{ MPa}$$

$$0,45 f_{ck(cyl)} \geq \sigma_c$$

$$16,65 > 9,344 \text{ MPa}$$

lineární dotvarování

Uvažujeme vnitřní prostředí;  $t_0 = 28$  dní; třída cementu N

Náhradní rozměr průřezu

$$h_0 = 2 A_c / u = 2 \cdot 0,3^2 / 4 \cdot 0,3 = 0,150 \text{ m}$$

Konečná hodnota součinitele dotvarování (z grafu)

$$\varphi(\infty, t_0) = 2,4$$

Efektivní hodnota součinitele dotvarování

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) \cdot M_{Ed,qp} / M_{Ed} = 2,4 \cdot 58,92 / 117,58 = 1,203$$

Součinitel zohledňující dotvarování

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1 + 0,348 \cdot 1,203 = 1,203 > 1$$

$$1/r_0 = f_{yd} / E_s / (0,45 \cdot d) = 550 / 1,15 / 200 \cdot 10^3 / (0,45 \cdot 0,263) = 0,020$$

$$1/r = K_r \cdot K_\varphi \cdot 1/r_0 = 0,891 \cdot 1,203 \cdot 0,020 = 0,026$$

Moment druhého řádu

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = N_{Ed} \cdot (1/r) \cdot l_0^2 / c = 1464,37 \cdot 0,026 \cdot 1,975^2 / 10 =$$

$$= 14,61 \text{ kNm}$$

Výsledný návrhový moment

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = 124,81 + 14,61 = \underline{139,42 \text{ kNm}}$$

**Návrh**  $\phi = 25\text{mm}$

**n = 4ks**

Plocha výztuže  $A_{s1} = A_{s2} = 2 \cdot \pi \cdot r^2 = 2 \cdot \pi \cdot (0,025/2)^2 = 0,000982\text{m}^2$

Síla ve výztuži  $F_{s1} = F_{s2} = A_{s1/2} \cdot f_{yd} = 0,000982 \cdot 550 \cdot 10^3 / 1,15 = 469,53\text{kN}$

Vzdálenost výztuže od středu průřezu

$$z_{s1} = z_{s2} = h/2 - c_{\text{nom}} - r = 0,3 - 0,025 - 0,025/2 = 0,113\text{m}$$

Účinná výška průřezu

$$d = h - c_{\text{nom}} - r = 0,3 - 0,025 - 0,025/2 = 0,263\text{m}$$

$$d_2 = c_{\text{nom}} + r = 0,025 + 0,025/2 = 0,038\text{m}$$

### Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,\text{min}} = 0,1 \cdot N_{\text{Ed}} / f_{yd} = 0,1 \cdot 1464,37 / 550 \cdot 10^3 / 1,15 = 0,000306\text{m}^2$$

$$A_{s,\text{max}} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,3^2 = 0,003600\text{m}^2$$

$$A_{s,\text{min}} \leq A_s \leq A_{s,\text{max}}$$

$$0,000306 < 0,001963 < 0,003600\text{m}^2 \quad \text{vyhovuje}$$

### Interakční diagram

Bod 0: Teoretické plné využití průřezu v tlaku

$$F_c = \lambda \cdot b \cdot h \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,3^2 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,5 = 1440,00\text{kN}$$

$$N_{\text{Rd},0} = F_c + F_{s1} + F_{s2} = 1440,0 + 2 \cdot 469,53 = 2379,06\text{kN}$$

$$M_{\text{Rd},0} = F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2 = 469,53 \cdot 0,113 - 469,53 \cdot 0,113 = 0,00\text{kNm}$$

Bod 1: Tlačená oblast  $x=d$ ; N.O. prochází těžištěm výztuže

$$F_c = \lambda \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,3 \cdot 0,263 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,5 = 1260,00\text{kN}$$

$$N_{\text{Rd},1} = F_c + F_{s2} = 1260,00 + 469,53 = 1729,53\text{kN}$$

$$M_{\text{Rd},1} = F_c \cdot (0,5 \cdot h - 0,4 \cdot d) + F_{s2} \cdot z_2 = 1260 \cdot (0,15 - 0,4 \cdot 0,263)$$

$$+ 469,53 \cdot 0,113 = 109,52\text{kNm}$$

Bod 2: Rozhraní mezi tlakovým porušením betonu a tahovým porušením oceli

$$x = 700 \cdot d / (700 + f_{yd}) = 700 \cdot 0,263 / (700 + 550 / 1,15) = 0,156\text{m}$$

$$F_c = \lambda \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,3 \cdot 0,156 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,5 = 748,56\text{kN}$$

$$N_{\text{Rd},2} = F_c + F_{s2} - F_{s1} = 748,56 + 469,53 - 469,53 = 748,56\text{kN}$$

$$M_{\text{Rd},2} = F_c \cdot (0,5 \cdot h - 0,4 \cdot x) + F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2 = 1260 \cdot (0,15 - 0,4 \cdot 0,156)$$

$$+ 469,53 \cdot 0,113 + 469,53 \cdot 0,113 = 171,23\text{kNm}$$

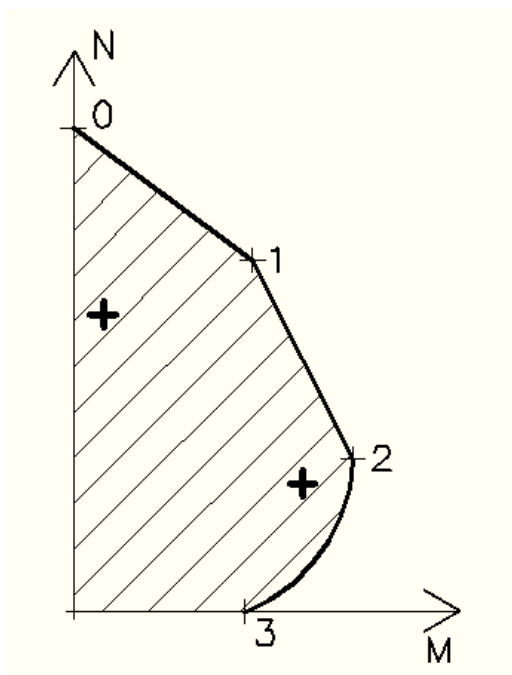
Bod 3: Prostý ohyb

$$x = F_{s1}/(\lambda \cdot b \cdot f_{cd}) = 469,53/(0,8 \cdot 0,3 \cdot 30 \cdot 10^3/1,5) = 0,098\text{m}$$

$$N_{Rd,3} = 0\text{kN}$$

$$M_{Rd,3} = F_{s1} \cdot (d - 0,4x) = 469,53 \cdot (0,263 - 0,4 \cdot 0,098) = 104,88\text{kNm}$$

Grafický výstup



Obr. č. 53 – grafické posouzení únosnosti sloupu S1

### Numerické posouzení

Malá výstřednost tlačené síly

Rovnice přímky mezi body 1 a 2

$$y = k \cdot x + q$$

$$N_{Rd,1} = M_{Rd,1} \cdot k + q$$

$$N_{Rd,2} = M_{Rd,2} \cdot k + q$$

$$k = (N_{Rd,2} - N_{Rd,1}) / (M_{Rd,2} - M_{Rd,1}) = (748,56 - 1729,53) / (171,23 - 109,52) = -15,896$$

$$q = N_{Rd,2} - M_{Rd,2} \cdot k = 748,56 - 171,23 \cdot (-15,896) = 3470,52$$

$$M_{Rd} = (N_{Rd} - q) / k = (1464,37 - 3470,52) / (-15,896) = 126,20\text{kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$126,203 > 18,08\text{kNm}$$

vyhovuje

Velká výstřednost tlačené síly

Podmínka rovnováhy sil v průřezu

$$N_{Rd} = F_{s2} + F_c - F_{s1}$$

$$N_{Rd} = F_{s2} + \lambda \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} - F_{s1}$$

$$x = (N_{Rd} - F_{s2} + F_{s1}) / \lambda \cdot b \cdot f_{cd} =$$

$$= (628,28 - 469,52 + 469,52) / 0,8 \cdot 0,3 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,5 = 0,131 \text{ m}$$

$$F_c = \lambda \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,3 \cdot 0,131 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,5 = 628,28 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2 + F_c \cdot (0,5 \cdot h - 0,4 \cdot x) =$$

$$= 2 \cdot 469,53 \cdot 0,113 + 628,28 \cdot (0,5 \cdot 0,3 - 0,4 \cdot 0,131) = 166,99 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$166,99 > 139,42 \text{ kNm}$$

vyhovuje

Kontrola využití tažené výztuže

$$x_{lim} = 700 \cdot d / (700 + f_{yd}) = 700 \cdot 0,263 / (700 + 550 / 1,15) = 0,156 \text{ m}$$

$$x_{lim} \geq x$$

$$0,156 > 0,131 \text{ m}$$

vyhovuje

Kontrola využití tlačené výztuže

$$x_{lim} = 700 \cdot d_2 / (700 - f_{yd}) = 700 \cdot 0,038 / (700 - 550 / 1,15) = 0,118 \text{ m}$$

$$x \geq x_{lim}$$

$$0,131 \text{ m} > 0,118 \text{ m}$$

vyhovuje

### Příčná výztuž – třmínky

Minimální průměr třmínku

$$\phi_{sw,min} = \max (0,006; \phi/4 = 0,006; 0,025/4 = 0,006; 0,006) = 0,006 \text{ m}$$

Maximální vzdálenost mezi třmínky

$$s_{w,max} = \min (15 \cdot \phi; 0,3 = 15 \cdot 0,025; 0,3 = 0,375; 0,3) = 0,300 \text{ m}$$

**Návrh**

$$\phi_{sw} = 6 \text{ mm}$$

$$s_w = 300 \text{ mm}$$

**Kotevní délka**

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0,05} / \gamma_c = 1 \cdot 2,0 / 1,5 = 1,333$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,333 = 3 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = (\phi/4) \cdot f_{yd} / f_{bd} = (25/4) \cdot 550 / 1,15 / 3,0 = 0,996 \text{ m}$$

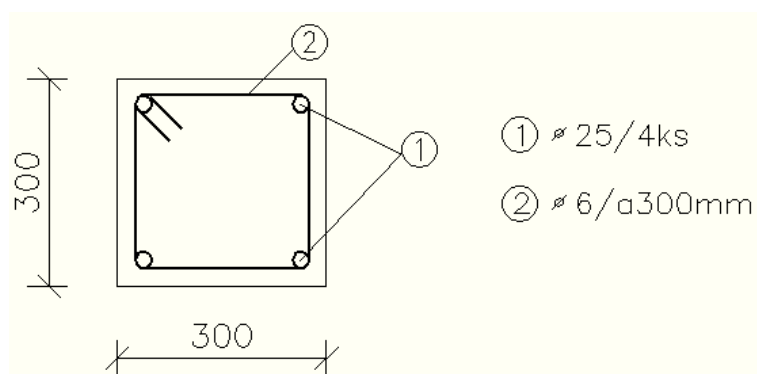
$$l_b = 1,000 \text{ m}$$

$$l_{b,min} = \max (0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\phi; 0,1 = 0,3 \cdot 0,996; 10 \cdot 0,025; 0,1 = 0,299; 0,25; 0,1) = 0,335 \text{ m}$$

$$l_b \geq l_{b,rqd}$$

$$1,000\text{m} > 0,299\text{m}$$

vyhovuje



Obr. č. 54 – návrh vyztužení sloupu S1

### 3.2.4 Základová patka

#### Patka P1

Rozměry	$h = 0,5\text{m}$
	$b_x = 1,5\text{m}$
	$b_y = 1,5\text{m}$
Max. vnitřní síly	$M_{Ed,x} = 53,68\text{kNm}$
	$M_{Ed,y} = 35,35\text{kNm}$
	$V_{Ed} = 1464,37\text{kN}$

Nominální krytí výztuže

$$c_{nom} = 40\text{mm}$$

#### Mezní stav únosnosti

Únosnost v ohybu

Návrh výztuže ve směru „x“

$$\phi = 10\text{mm}$$

$$n = 12\text{ks}$$

$$\text{Plocha výztuže } A_s = n \cdot \pi \cdot (\phi/2)^2 = 12 \cdot 3,142 \cdot (0,010/2)^2 = 0,000942\text{m}^2$$

$$\text{Síla ve výztuži } F_s = A_s \cdot f_{yd} = 0,000942 \cdot 550 \cdot 10^3 / 1,15 = 450,750\text{kN}$$

Výška tlačené oblasti betonu

$$x = F_s / (0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}) = 450,750 \cdot 1,5 / (0,8 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 30,0 \cdot 10^3) = 0,019\text{m}$$

$$\text{Účinná výška průřezu } d = h - c_{nom} - \phi/2 = 0,5 - 0,040 - 0,010/2 = 0,455\text{m}$$

$$\text{Posouzení únosnosti } M_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4x) = 450,750 \cdot (0,455 - 0,4 \cdot 0,019) = 201,705\text{kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$201,705\text{kNm} > 53,680\text{kNm}$$

vyhovuje

#### **Konstrukční zásady**

Minimální plocha výztuže

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= \max(0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b_t \cdot d / f_{yk}; 0,0013 \cdot b_t \cdot d = \\ &= 0,26 \cdot 2,9 \cdot 1,5 \cdot 0,455 / 550; 0,0013 \cdot 1,5 \cdot 0,455 = \\ &= 0,000936; 0,000887) = 0,000936\text{m}^2 \end{aligned}$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,5 \cdot 1,5 = 0,030000\text{m}^2$$

$$A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,max}$$

$$0,000936\text{m}^2 < 0,000942\text{m}^2 < 0,030000\text{m}^2$$

vyhovuje

## Omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = x/d = 0,019/0,455 = 0,041$$

$$\xi_{bal} = 700/(700 + f_{yd}) = 700/(700 + 550/1,15) = 0,594$$

$$\xi_{bal} \geq \xi$$

$$0,594 > 0,041$$

vyhovuje

## Maximální osová vzdálenost prutů

$$s_{o,max} = \min(2h; 0,250 = 2 \cdot 0,500; 0,250 = 1,000; 0,250) = 0,250m$$

$$s_o = (b - 2c_{nom} - \phi) / (n - 1) = (1,5 - 2 \cdot 0,040 - 0,010) / (12 - 1) = 0,128m$$

$$s_{o,max} \geq s_o$$

$$0,250m > 0,128m$$

vyhovuje

## Minimální světlá vzdálenost mezi pruty

$$s_s = s_o - \phi = 0,128 - 0,010 = 0,118m$$

$$s_{s,min} = \max(k_1 \cdot \phi; d_g + k_2; 0,020 = 1 \cdot 0,010; 0,016 + 0,005; 0,020 = 0,010; 0,021; 0,020) = 0,021m$$

$$s_s \geq s_{s,min}$$

$$0,118m > 0,021m$$

vyhovuje

## Kotevní délka

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0,05} / \gamma_c = 1 \cdot 2,0 / 1,5 = 1,333$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,333 = 3MPa$$

$$l_{b,rqd} = (\phi/4) \cdot f_{yd} / f_{bd} = (10/4) \cdot 550 / 1,15 / 3,0 = 0,399m$$

$$l_b = 0,400m$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\phi; 0,1 = 0,3 \cdot 0,399; 10 \cdot 0,010; 0,1 = 0,120; 0,1; 0,1) = 0,120m$$

$$l_b \geq l_{b,rqd}$$

$$0,400m > 0,120m$$

vyhovuje

## Návrh výztuže ve směru „y“

$$\phi = 10mm$$

$$n = 12ks$$

## Plocha výztuže

$$A_s = n \cdot \pi \cdot (\phi/2)^2 = 12 \cdot 3,142 \cdot (0,010/2)^2 = 0,000942m^2$$

## Síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 0,000942 \cdot 550 \cdot 10^3 / 1,15 = 450,750kN$$

## Výška tlačené oblasti betonu

$$x = F_s / (0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}) = 450,750 \cdot 1,5 / (0,8 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 30,0 \cdot 10^3) = 0,019m$$

Účinná výška průřezu

$$d = h - c_{\text{nom}} - \phi_x - \phi_y / 2 = 0,5 - 0,040 - 0,010 - 0,010 / 2 = 0,445 \text{ m}$$

Posouzení únosnosti  $M_{\text{Rd}} = F_s * (d - 0,4x) = 450,750 * (0,445 - 0,4 * 0,019) = 197,198 \text{ kNm}$

$$M_{\text{Rd}} \geq M_{\text{Ed}}$$

$$197,198 \text{ kNm} > 35,350 \text{ kNm} \quad \text{vyhovuje}$$

### Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže

$$\begin{aligned} A_{s,\text{min}} &= \max (0,26 * f_{\text{ctm}} * b_t * d / f_{yk}; 0,0013 * b_t * d = \\ &= 0,26 * 2,9 * 1,5 * 0,445 / 550; 0,0013 * 1,5 * 0,445 = \\ &= 0,000915; 0,000868) = 0,000915 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s,\text{max}} = 0,04 * A_c = 0,04 * 0,5 * 1,5 = 0,030000 \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{min}} \leq A_s \leq A_{s,\text{max}}$$

$$0,000915 \text{ m}^2 < 0,000942 \text{ m}^2 < 0,030000 \text{ m}^2 \quad \text{vyhovuje}$$

Omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = x/d = 0,019/0,445 = 0,042$$

$$\xi_{\text{bal}} = 700 / (700 + f_{yd}) = 700 / (700 + 550 / 1,15) = 0,594$$

$$\xi_{\text{bal}} \geq \xi$$

$$0,594 > 0,042 \quad \text{vyhovuje}$$

Maximální osová vzdálenost prutů

$$s_{o,\text{max}} = \min (2h; 0,250 = 2 * 0,500; 0,250 = 1,000; 0,250) = 0,250 \text{ m}$$

$$s_o = (b - 2c_{\text{nom}} - \phi) / (n - 1) = (1,5 - 2 * 0,040 - 0,010) / (12 - 1) = 0,128 \text{ m}$$

$$s_{o,\text{max}} \geq s_o$$

$$0,250 \text{ m} > 0,128 \text{ m} \quad \text{vyhovuje}$$

Minimální světlá vzdálenost mezi pruty

$$s_s = s_o - \phi = 0,128 - 0,010 = 0,118 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} s_{s,\text{min}} &= \max (k_1 * \phi; d_g + k_2; 0,020 = 1 * 0,010; 0,016 + 0,005; 0,020 = \\ &= 0,010; 0,021; 0,020) = 0,021 \text{ m} \end{aligned}$$

$$s_s \geq s_{s,\text{min}}$$

$$0,118 \text{ m} > 0,021 \text{ m} \quad \text{vyhovuje}$$



**Kotevní délka**

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} * f_{ctk;0,05} / \gamma_c = 1 * 2,0 / 1,5 = 1,333$$

$$f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd} = 2,25 * 1 * 1 * 1,333 = 3 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = (\phi/4) * f_{yd} / f_{bd} = (10/4) * 550 / 1,15/3,0 = 0,399 \text{ m}$$

$$l_b = 0,400 \text{ m}$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 * l_{b,rqd}; 10\phi; 0,1 = 0,3 * 0,399; 10 * 0,010; 0,1 = 0,120; 0,1; 0,1) = 0,120 \text{ m}$$

$$l_b \geq l_{b,rqd}$$

$$0,400 \text{ m} > 0,120 \text{ m}$$

vyhovuje

**Posouzení zda navrhnout smykovou výztuž**

Rozměry sloupu  $c_x = c_y = 0,3 \text{ m}$

Šířka pruhu pro umístění výztuže

$$l_c = \min(b; c+2h = 1,5; 0,3+2*0,5 = 1,5; 1,3) = 1,3 \text{ m}$$

Nutná plocha výztuže

$$A_{sc,nut} = 2 * l_c * A_{s,x} / (l_x + l_c) = 2 * 1,3 * 0,000942 / (1,5 + 1,3) = 0,000817 \text{ m}^2$$

$$A_{sc} \geq A_{sc,nut}$$

$$0,000942 \text{ m}^2 > 0,000817 \text{ m}^2$$

vyhovuje

Kontrolovaný průřez  $d_{ef} = (d_x + d_y) / 2 = (0,455 + 0,445) / 2 = 0,450 \text{ m}$

Kritický obvod  $2d = 2 * d_{ef} = 2 * 0,450 = 0,900 \text{ m}$

Kontrolovaný obvod  $u_l = 2 * (c_x + c_y) + 2\pi * 2d = 2 * (0,3 + 0,3) + 2 * 3,142 * 0,9 = 6,855 \text{ m}$

Skutečný obvod  $u_{skut} = 2 * (l_x + l_y) = 2 * (1,5 + 1,5) = 6 \text{ m}$

Posouvající síla  $V_{Ed} = \beta * N_{Ed} / (u_{skut} * d_{ef}) = 1,0 * 1464,37 / (6 * 0,450) = 542,539 \text{ kN}$

Únosnost ve smyku při protlačení bez smykové výztuže

$$k = 1 + (200 / d_{ef})^{0,5} = 1 + (200 / 450)^{0,5} = 1,667$$

$$\rho_x = A_{s,x} / b_y * d_x = 0,000942 / 1,5 * 0,455 = 0,001381$$

$$\rho_y = A_{s,y} / b_x * d_y = 0,000942 / 1,5 * 0,445 = 0,001412$$

Stupeň vyztužení  $\rho_1 = (\rho_x * \rho_y)^{0,5} = (0,001381 * 0,001412)^{0,5} = 0,001396$

Návrhová únosnost  $V_{Rd,c} = c_{Rd,c} * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} + k_1 * \sigma_{cp} =$   
 $= 0,18 / 1,5 * 1,667 * (100 * 0,001396 * 30)^{1/3} + 0 = 322,405 \text{ kN}$

$$V_{Rd,c} \geq V_{Ed}$$

$$322,405 < 542,539 \text{ kN} \quad \text{je nutno navrhnout smykovou výztuž}$$

Posouvající síla, kterou přenesou smyková výztuž

Návrh  $\phi = 8 \text{ mm}$

$$n = 36 \text{ ks}$$

Plocha smykové výztuže

$$A_{sw} = n \cdot \pi \cdot (\phi/2)^2 = 36 \cdot 3,142 \cdot (0,008/2)^2 = 0,002827 \text{m}^2$$

$$V_{Rd,s} = A_{sw} \cdot n \cdot z \cdot f_{ywd} = 0,002827 \cdot 0,9 \cdot 550 \cdot 10^3 = 553,747 \text{kN}$$

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed}$$

$$553,747 > 542,539 \text{kN} \quad \text{vyhovuje}$$

### **Mezní stav použitelnosti**

Plocha výztuže při dolním okraji

$$A_{sd} = A_{s1} = 0,000942 \text{m}^2$$

Plocha výztuže při horním okraji

$$A_{sh} = 0,000000 \text{m}^2$$

$$A_{s2} = A_{sh} - A_{sd} = -0,000942 \text{m}^2 < 0,000 \text{m}^2 \rightarrow 0,000 \text{m}^2$$

Účinná výška průřezu

$$d_1 = 0,455 \text{m}$$

Poměr modulů pružnosti

$$\alpha_e = E_s/E_{cm} = 200/32 = 6,25$$

Průřezové charakteristiky

Plocha  $A_i^I = A_c^I + \alpha_e \cdot A_{s1} = 1,5 \cdot 0,5 + 6,25 \cdot 0,000942 = 0,755890 \text{m}^2$

Poloha n.o.  $a_{gi} = (A_c \cdot a_c + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot d_1) / A_i^I =$   
 $= (1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,25 + 6,25 \cdot 0,000942 \cdot 0,455) / 0,755890 = 0,252 \text{m}$

Moment setrvačnosti  $I_i^I = I_c^I + A_c^I \cdot (a_{gi} - a_c)^2 + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot (a_{gi} - d_1)^2 =$   
 $= 1,5 \cdot 0,5^3 / 12 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot (0,252 - 0,25)^2 + 6,25 \cdot 0,000942 \cdot (0,252 - 0,455)^2 =$   
 $= 0,015871 \text{m}^4$

### **Ideální průřez bez trhlin**

Charakteristická hodnoty vnitřních sil

$$N_{Ek} = 0,0 \text{kN}$$

$$M_{Ek} = 32,04 \text{kNm}$$

Výpočet napětí  $\sigma_{c1} = N_{Ek} / A_i^I + M_{Ek} \cdot (h - a_{gi}) / I_i^I = 0 + 32,04 \cdot (0,5 - 0,252) / 0,015871 =$   
 $= 501 \text{kPa}$

$$\sigma_{c1} \leq f_{ctm}$$

$$0,501 < 2,9 \text{MPa} \quad \text{nevzniknou trhliny}$$

**Omezení trhlin**

Souč. zohledňující rozdělení napětí v průřezu před vznikem trhlin a změnu ramene vn. sil

$$k_c = 0,3$$

Souč. vyjadřující účinek nerovnoměrného rozdělení vnitřních rovnovážných napětí

$$k = 0,86$$

Minimální průřezová plocha výztuže

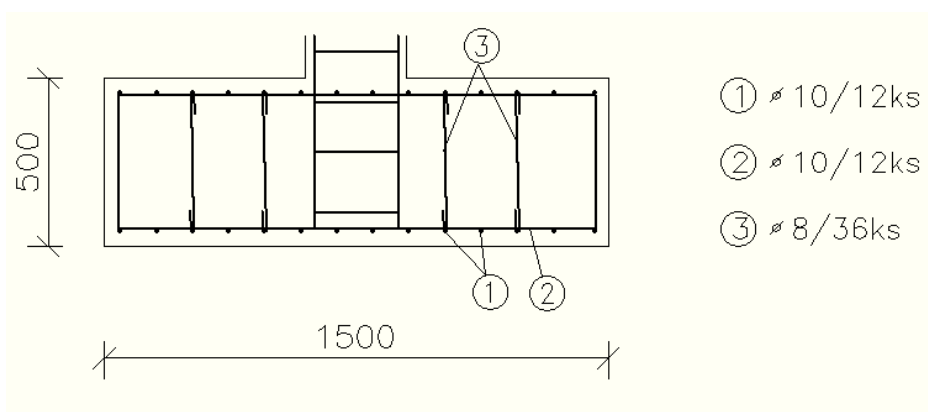
$$A_{s,min} = k_c * k * f_{ct,eff} * A_{ct} / \sigma_s = 0,3 * 0,86 * 2,9 * 10^3 * 1,5 * 0,25 / 550,10^3 =$$

$$= 0,000510 \text{ m}^2$$

$$A_s \geq A_{s,min}$$

$$0,000942 > 0,000510 \text{ m}^2$$

vyhovuje



Obr. č. 55 – návrh vyztužení základové patky P1

### 3.2.5 Založení objektu

Charakteristika zemin (tab. 10)

	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi_{ef}$ [°]	$c_{ef}$ [kPa]	$\gamma_{su}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_{def}$ [MPa]	$\beta_i$ [m]	$m_i$ [-]
GW	21	40	0	-	250	0,9	0,3
CG	19,5	28	24	12	15	0,62	0,2

GW štěrk dobře zrněný – podsyp

CG jíl štěrkovitý – podloží

$\gamma$  objemová tíha zeminy

$\gamma_{su}$  objemová tíha zeminy pod HPV

$\varphi_{ef}$  úhel vnitřního tření zeminy

$c_{ef}$  soudržnost zeminy

$E_{def}$  modul přetvárnosti zeminy

$E_{oed}$  oedemetrický modul přetvárnosti zeminy

$\beta$  součinitel

$m_i$  součinitel strukturního oslabení

$z$  vzdálenost od základové spáry

Rozměry základu  $b_x = b_y = 1,5\text{m}$

$h = 0,5\text{m}$

Zatížení  $V_d = 1464,37\text{kN}$

$G = b_x \cdot b_y \cdot h \cdot g = 1,5 \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot 25 = 28,13\text{kN}$

$M_x = 53,68\text{kNm}$

$M_y = 35,35\text{kNm}$

Efektivní rozměry základu

$e_x = M_x / V_d = 53,68 / 1464,37 = 0,037\text{m}$

$e_y = M_y / V_d = 35,35 / 1464,37 = 0,024\text{m}$

$b_{x,ef} = b_x - 2e_x = 1,5 - 2 \cdot 0,037 = 1,427\text{m}$

$b_{y,ef} = b_y - 2e_y = 1,5 - 2 \cdot 0,024 = 1,452\text{m}$

Hloubka založení  $d = 1,4\text{m}$

Vzdálenost HPV od základu

$d_w = 0,2\text{m}$

Mocnosti vrstev GW – 0,1m ... 1,4~1,5m

CG – 5m ... 1,5~6,5m

**Posouzení únosnosti základové půdy**

Výpočtové charakteristiky zeminy

$$\gamma_d = \gamma/\gamma_1 = 19,5/1 = 19,5 \text{ kN/m}^3$$

$$c_d = c_{ef}/\gamma_{mc} = 24/1,25 = 19,2 \text{ kPa}$$

$$\varphi_d = \varphi_{ef}/\gamma_\varphi = 28/1,25 = 22,4^\circ$$

Součinitele únosnosti

$$k_p = \text{tg}^2(45+0,5\varphi_d) = \text{tg}^2(45+0,5*22,4) = 2,231$$

$$N_d = k_p * e^{\pi * \text{tg}\varphi_d} = 2,231 * e^{\pi * \text{tg}(22,4)} = 8,146$$

$$N_c = (N_d - 1) * \cotg\varphi_d = (8,146 - 1) * \cotg(22,4) = 17,337$$

$$N_b = 2 * (N_d - 1) * \text{tg}\varphi_d = 2 * (8,146 - 1) * \text{tg}(22,4) = 5,891$$

Součinitele tvaru základu

$$s_d = 1 + b_{y,ef} * \sin\varphi_d / b_{x,ef} = 1 + 1,452 * \sin(22,4) / 1,427 = 1,388$$

$$s_c = (s_d * N_d - 1) / (N_d - 1) = (1,388 * 8,146 - 1) / (8,146 - 1) = 1,442$$

$$s_b = 1 - 0,3 * b_{y,ef} / b_{x,ef} = 1 - 0,3 * 1,452 / 1,427 = 0,695$$

Součinitele vlivu šikmosti základové spáry

$$b_d = b_c = 1$$

Součinitele vlivu šikmosti zatížení

$$i_d = i_c = i_b = 1$$

Vliv HPV – Dosah plastické zóny dle Prandtla

$$z_s = \frac{b_{x,ef}}{2} * \frac{\cos\varphi_d}{\cos(45+\frac{\varphi_d}{2})} * e^{\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\arctg\varphi_d}{2}\right) * \text{tg}\varphi_d} = 1,439 \text{ m}$$

$$\gamma_2 = \gamma_{su} + d_w * (\gamma - \gamma_{su}) / z_s = 12 + 0,2 * (19,5 - 12) / 1,439 = 13,0 \text{ kN/m}^3$$

Posouzení únosnosti základové půdy

$$R = c_d * N_c * s_c * b_c * i_c + \gamma_1 * d * N_d * s_d * b_d * i_d + \gamma_2 * 0,5 * b_{x,ef} * N_b * s_b * b_b * i_b =$$

$$= 19,2 * 17,337 * 1,442 * 1 * 1 + 21 * 1,4 * 8,146 * 1,388 * 1 * 1 +$$

$$+ 13,0 * 0,5 * 1,427 * 5,891 * 0,695 * 1 * 1 = 850,4 \text{ kPa}$$

$$\sigma_d = (V_d + G) / A_{ef} = (1464,37 + 28,13) / 1,427 * 1,452 = 720,6 \text{ kPa}$$

$$R \geq \sigma_d$$

$$850,4 > 720,6 \text{ kPa}$$

vyhovuje

**Posouzení sednutí a průhybu základu**

Napětí v základové spáře

$$\sigma_{ol} = F/A - \gamma \cdot d = (1464,37 + 28,13)/1,5^2 - 21 \cdot 1,4 = 633,96 \text{ kPa}$$

Součinitele

$$A = (z^2 + b_y^2)^{1/2}$$

$$B = (z^2 + b_x^2)^{1/2}$$

$$C = (z^2 + b_x^2 + b_y^2)^{1/2}$$

$$I_r = \frac{1}{2\pi} * \left[ \arctg\left(\frac{b_x \cdot b_y}{z \cdot C}\right) + \frac{b_x \cdot b_y \cdot z}{C} * \left(\frac{1}{A^2} + \frac{1}{B^2}\right) \right]$$

Napětí pod základem  $\sigma_z = \sigma_{ol} \cdot I_{r,i} \cdot x$ 

x = 4 pro střed základu; x = 2 pro hranu základu

Výpočet sednutí pro střed základu (tab. 11)

z	A	B	C	I <sub>r</sub>	σ <sub>z</sub>	v	γ <sub>i</sub>	σ <sub>or,i</sub>	σ <sub>ol,i</sub>	E <sub>oed</sub>	s
0,1	0,757	0,757	1,065	0,250	632,8	0,3	21,0	636,0	190,8	277,8	0,16
0,2	0,776	0,776	1,079	0,247	625,7	0,2	19,5	635,9	127,2	24,2	2,06
0,3	0,808	0,808	1,102	0,240	608,8	0,2	19,5	637,8	127,6	24,2	1,99
0,4	0,850	0,850	1,134	0,229	581,9	0,2	19,5	639,8	128,0	24,2	1,88
0,5	0,901	0,901	1,173	0,216	546,9	0,2	19,5	641,7	128,3	24,2	1,73
0,6	0,960	0,960	1,219	0,200	507,0	0,2	19,5	643,7	128,7	24,2	1,56
0,7	1,026	1,026	1,271	0,183	465,2	0,2	19,5	645,6	129,1	24,2	1,39
0,8	1,097	1,097	1,329	0,167	423,8	0,2	19,5	647,6	129,5	24,2	1,22
0,9	1,172	1,172	1,391	0,152	384,4	0,2	19,5	649,5	129,9	24,2	1,05
1,0	1,250	1,250	1,458	0,137	348,0	0,2	19,5	651,5	130,3	24,2	0,90
1,1	1,331	1,331	1,528	0,124	314,7	0,2	19,5	653,4	130,7	24,2	0,76
1,2	1,415	1,415	1,602	0,112	284,8	0,2	19,5	655,4	131,1	24,2	0,64
1,3	1,501	1,501	1,678	0,102	258,0	0,2	19,5	657,3	131,5	24,2	0,52
1,4	1,588	1,588	1,756	0,092	234,2	0,2	19,5	659,3	131,9	24,2	0,42
1,5	1,677	1,677	1,837	0,084	213,1	0,2	19,5	661,2	132,2	24,2	0,33
1,6	1,767	1,767	1,920	0,077	194,3	0,2	19,5	663,2	132,6	24,2	0,25
1,7	1,858	1,858	2,004	0,070	177,6	0,2	19,5	665,1	133,0	24,2	0,18
1,8	1,950	1,950	2,089	0,064	162,8	0,2	19,5	667,1	133,4	24,2	0,12
1,9	2,043	2,043	2,176	0,059	149,6	0,2	19,5	669,0	133,8	24,2	0,07
2,0	2,136	2,136	2,264	0,054	137,8	0,2	19,5	671,0	134,2	24,2	0,01
2,1	2,230	2,230	2,353	0,050	127,3	0,2	19,5	672,9	134,6	24,2	-0,03

Sednutí ve středu základu

$$s_s = 17,25 \text{ mm}$$

Výpočet sednutí pro hranu základu (tab. 12)

z	A	B	C	I <sub>r</sub>	σ <sub>z</sub>	v	γ <sub>i</sub>	σ <sub>or,i</sub>	σ <sub>ol,i</sub>	E <sub>oed</sub>	s
0,1	1,503	0,757	1,68	0,250	316,63	0,3	21,0	636,0	190,8	277,8	0,05
0,2	1,513	0,776	1,689	0,248	314,46	0,2	19,5	637,8	127,6	24,2	0,77
0,3	1,530	0,808	1,704	0,244	309,26	0,2	19,5	639,8	128,0	24,2	0,75
0,4	1,552	0,850	1,724	0,237	300,75	0,2	19,5	641,7	128,3	24,2	0,71
0,5	1,581	0,901	1,75	0,228	289,35	0,2	19,5	643,7	128,7	24,2	0,66
0,6	1,616	0,960	1,781	0,218	275,86	0,2	19,5	645,6	129,1	24,2	0,61
0,7	1,655	1,026	1,817	0,206	261,11	0,2	19,5	647,6	129,5	24,2	0,54
0,8	1,700	1,097	1,858	0,194	245,83	0,2	19,5	649,5	129,9	24,2	0,48
0,9	1,749	1,172	1,903	0,182	230,55	0,2	19,5	651,5	130,3	24,2	0,41
1,0	1,803	1,250	1,953	0,170	215,66	0,2	19,5	653,4	130,7	24,2	0,35
1,1	1,860	1,331	2,006	0,159	201,38	0,2	19,5	655,4	131,1	24,2	0,29
1,2	1,921	1,415	2,062	0,148	187,87	0,2	19,5	657,3	131,5	24,2	0,23
1,3	1,985	1,501	2,122	0,138	175,18	0,2	19,5	659,3	131,9	24,2	0,18
1,4	2,052	1,588	2,185	0,129	163,35	0,2	19,5	661,2	132,2	24,2	0,13
1,5	2,121	1,677	2,25	0,120	152,37	0,2	19,5	663,2	132,6	24,2	0,08
1,6	2,193	1,767	2,318	0,112	142,2	0,2	19,5	665,1	133,0	24,2	0,04
1,7	2,267	1,858	2,388	0,105	132,8	0,2	19,5	667,1	133,4	24,2	0,00
1,8	2,343	1,950	2,46	0,098	124,13	0,2	19,5	669,0	133,8	24,2	-0,04

Sednutí na hraně základu

$$s_h = 6,29\text{mm}$$

Posouzení sednutí základu

$$s_{\text{lim}} = 60\text{mm}$$

$$s_{\text{lim}} \geq s$$

$$60 > 17,25\text{mm}$$

vyhovuje

Posouzení průhybu základů

Osová vzdálenost patek

$$l = 7,2\text{m}$$

$$w = (s_s - s_h)/l = (17,25 - 6,29)/7200 = 0,001523$$

$$w_{\text{lim}} = 0,002$$

$$w_{\text{lim}} \geq w$$

$$0,002 > 0,001523$$

vyhovuje

## 4. Hala

### 4.1 Zatížení

#### 4.1.1 Zatížení stálé

Hmotnosti staviv, výrobků (tab. 13)

Materiál	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Fólie mPVC	3,2	
Geotextilie	0,3	
Střešní kazetové desky	174	
Polystyrén		23
Betonová mazanina		2400
Železobeton		2500

Skladba A9 (tab. 14)

Materiál	Tloušťka [mm]	Výpočet	g <sub>k</sub> [kN/m]
Fólie mPVC		0,032*1	0,032
Geotextilie		0,003*1	0,003
Polystyrén	100	0,1*0,23*1	0,023
Betonová mazanina	40	0,04*24*1	0,960
Kazetové desky	290	1,74*1	1,740
Σ			2,758

Liniová zatížení (tab. 15)

Materiál	Tloušťka [mm]	Výpočet	g <sub>k</sub> [kN/m]
Železobetonový průvlak	450 * 300	0,45*0,3*25	3,375
ŽB sendvičový panel	170 + 50	1*(0,17*25+0,05*0,23)	4,262

#### 4.1.2 Zatížení užité (tab. 16)

Provoz	q <sub>k</sub> [kN/m]
Střecha - kategorie H	0,75



### 4.1.3 Zatížení sněhem

Ostravsko – II. sněhová oblast

$$s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

$$c_e = 1,0$$

součinitel expozice

$$c_t = 1,0$$

tepelný součinitel

$$\mu_1 = 0,8$$

tvarový součinitel zatížení sněhem

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

tvarový součinitel zatížení sněhem

$$\mu_s = 0 \text{ pro } \alpha \leq 15^\circ$$

t. s. z. zohledňující sesuv sněhu z horní střechy

$$\mu_w = (b_1 + b_2) / 2 * h \leq \gamma * h / s_k$$

t.s.z. zohledňující působení větru

$$= (22,05 + 17) / 2 * 3,8 = 5,138 \leq 2 * 3,8 / 1 = 7,6$$

...vyhovuje

$$0,8 \leq \mu_w \leq 4$$

$$0,8 < 5,138 > 4 \rightarrow \mu_w = 4 = \mu_2$$

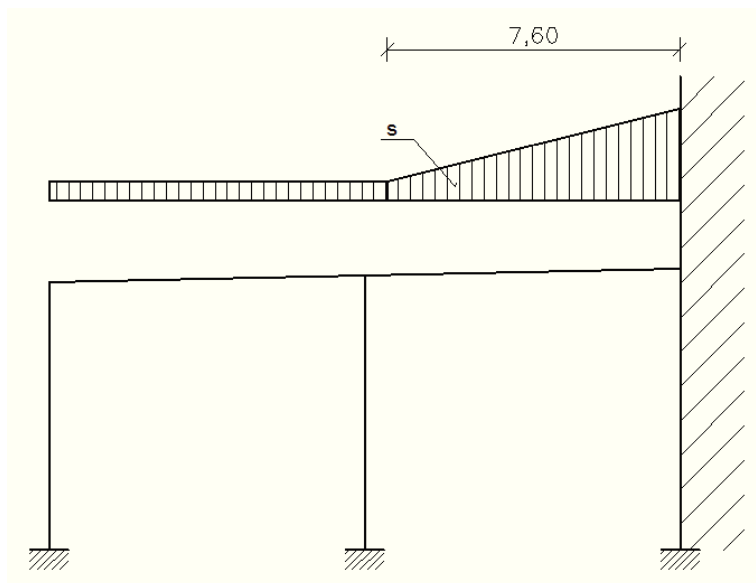
$$l_s = 2 * h = 2 * 3,8 = 7,6 \text{ m}$$

délka návěje

Vztah pro trvalou a dočasnou návrhovou situaci zatížení sněhem na střechách

$$s = s_k * c_e * c_t * \mu_1 = 1 * 1 * 1 * 0,8 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

$$s = s_k * c_e * c_t * \mu_2 = 1 * 1 * 1 * 4 = 4 \text{ kN/m}^2$$



Obr. č. 56 – schéma působení zatížení sněhem na halu

#### 4.1.4 Zatížení větrem

Ostravsko – II. větrná oblast

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

výchozí základní rychlost větru

$$c_{\text{dir}} = 1,0$$

součinitel směru větru

$$c_{\text{season}} = 1,0$$

součinitel ročního období

Základní rychlost větru

$$v_b = c_{\text{dir}} * c_{\text{season}} * v_{b,0} = 1 * 1 * 25 = 25 \text{ m/s}$$

Kategorie terénu III. – oblast pravidelně pokrytá vegetací, budovami nebo překážkami

$$z_0 = 0,3 \text{ m}$$

parametr drsnosti terénu

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

$$z = 7,15 \text{ m}$$

výška objektu

$$k_r = 0,19 * \ln \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 * \ln \left( \frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,198$$

$$c_r(z) = k_r * \ln \frac{z}{z_0} = 0,198 * \ln \frac{7,15}{0,3} = 0,628$$

součinitel drsnosti terénu

$$c_0(z) = 1,0$$

součinitel ortografie

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b = 0,628 * 1 * 25 = 15,697 \text{ m/s}$$

charakteristická střední rychlost větru

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) * \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1,0}{1 * \ln \frac{7,15}{0,3}} = 0,315$$

intenzita turbulence

Charakteristický maximální dynamický tlak

$$q_p = [1 + 7 * I_v] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2 = (1 + 7 * 0,315) * 0,5 * 1,25 * 15,697^2 = 0,494 \text{ kN/m}^2$$

Tlak větru na střešní konstrukci

$$e = \min(b; 2h) = \min(17; 2 * 7,15 = 14,3) = 14,3 \text{ m}$$

Plocha vystavená působení větru  $> 10 \text{ m}^2 \rightarrow c_{pe,10}$

$$h_p = 0,0 \text{ m}$$

výška atiky

$$h_p/h = 0,0/7,15 = 0,0$$

Hodnoty součinitele vnějších tlaků

$$c_{pe,10}^F = -1,8$$

$$c_{pe,10}^G = -1,2$$

$$c_{pe,10}^H = -0,7$$

$$c_{pe,10}^I = -0,2$$

$$c_{pe,10}^{I+} = 0,2$$

Hodnoty součinitele vnitřních tlaků

$$c_{pi,10} = 0,2$$

$$c_{pi,10} = -0,3$$

Výsledný tlak větru na střešní plášť

$$w_k = w_e + w_i = q_p(z_e) * c_{pe,10} + q_p(z_i) * c_{pi,10}$$

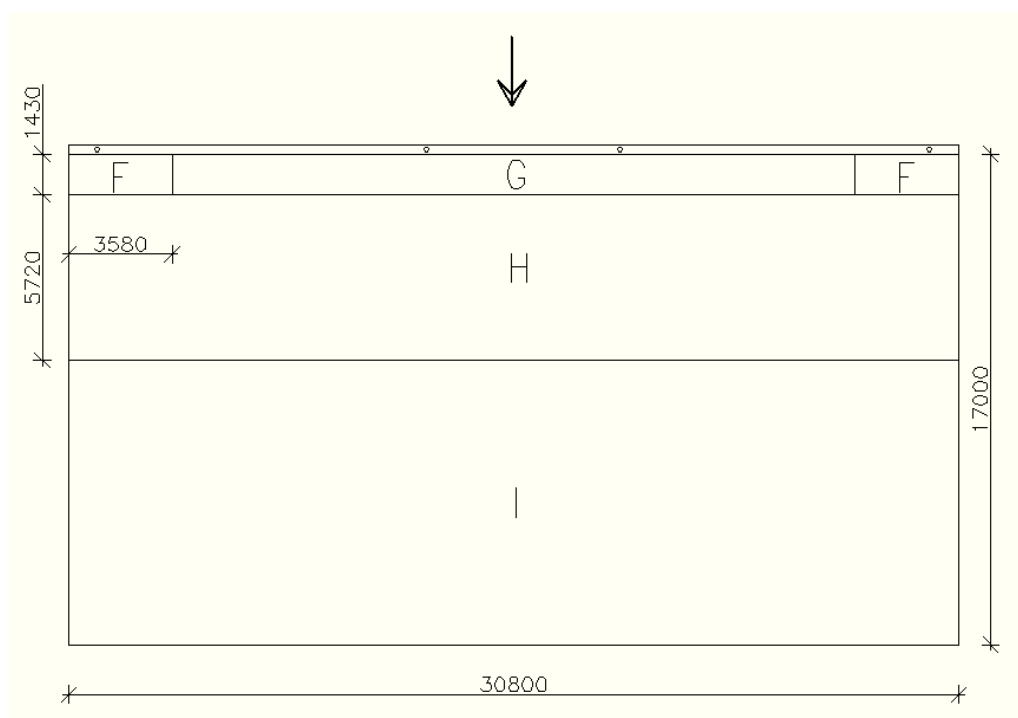
$$w_k^{F-} = 0,494 * (-1,8 - 0,2) = -0,988 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{G-} = 0,494 * (-1,2 - 0,2) = -0,692 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{H-} = 0,494 * (-0,7 - 0,2) = -0,445 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I-} = 0,494 * (-0,2 - 0,2) = -0,198 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I+} = 0,494 * (0,2 + 0,3) = 0,247 \text{ kN/m}^2$$



Obr. č. 57 – oblasti působení větru na střešní konstrukci

#### Tlak větru na svislé konstrukce

$$e = \min(b; 2h) = \min(30,8; 2 * 7,15) = 14,3 \text{ m}$$

$$\text{Plocha vystavená působení větru} > 10 \text{ m}^2 \rightarrow c_{pe,10}$$

$$h/d = 7,15/17 = 0,421$$

Hodnoty součinitele vnějších tlaků

$$c_{pe,10}^A = -1,2$$

$$c_{pe,10}^B = -0,8$$

$$c_{pe,10}^C = -0,5$$

$$c_{pe,10}^D = 0,723$$

$$c_{pe,10}^E = -0,346$$

Hodnoty součinitele vnitřních tlaků

$$c_{pi,10} = 0,2$$

$$c_{pi,10} = - 0,3$$

Výsledný tlak větru na střešní plášť

$$w_k = w_e + w_i = q_p(z_e) * c_{pe,10} + q_p(z_i) * c_{pi,10}$$

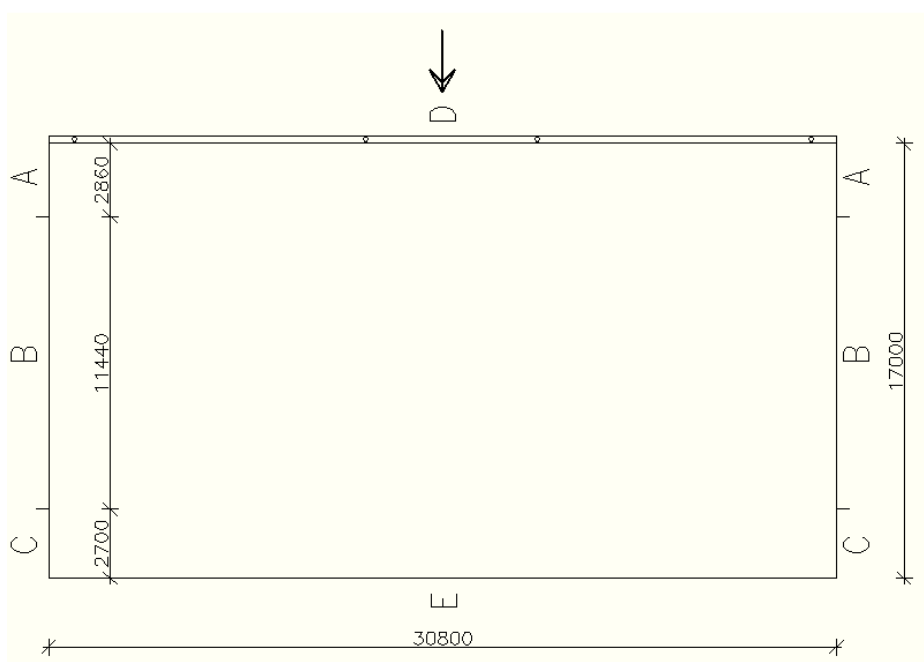
$$w_k^{A-} = 0,494 * (-1,2 - 0,2) = -0,692 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{B-} = 0,494 * (-0,8 - 0,2) = -0,494 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{C-} = 0,494 * (-0,5 - 0,2) = -0,346 \text{ kN/m}^2$$

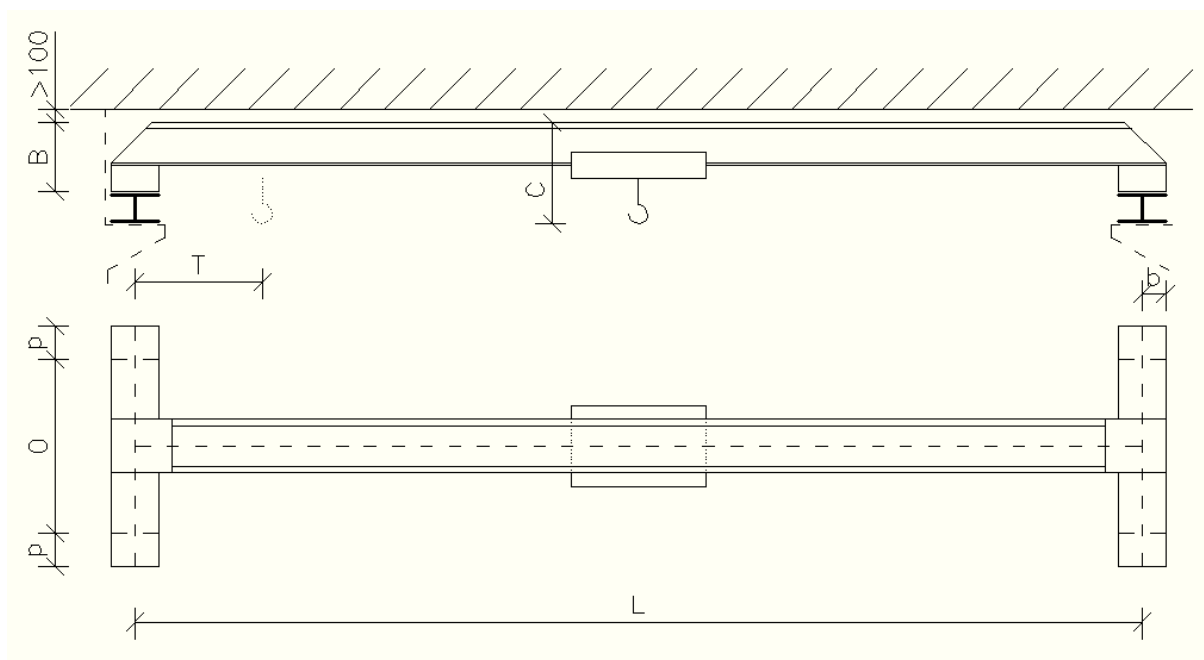
$$w_k^{D-} = 0,494 * (0,723 + 0,3) = 0,505 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{E+} = 0,494 * (-0,346 - 0,2) = -0,270 \text{ kN/m}^2$$



Obr. č. 58 – oblasti působení větru na svislé konstrukce

#### 4.1.5 Jeřábová dráha



Obr. č. 59 – schéma jeřábové dráhy

#### Parametry mostového jeřábu

Výrobce	FERRO OK s.r.o.
Typ	II
Nosnost	$Q = 5,0t$
Rozpětí	$L = 7,5m$
Rozvor kol	$O = 1,5m$
Vzdálenost osy kola od konce příčnicku	$p = 250mm$
Vzdálenost osy kola od vnějšího líce jeřábu	$b = 175mm$
Stavební výška	$B = 680mm$
Konstrukční výška k háku	$C = 920mm$
Dojezd kladkostroje	$T = 1000mm$
Hmotnost kočky	$G_k = 330kg$
Hmotnost jeřábu bez kočky	$G_j = 1970kg$
Tlak kola jeřábu bez kočky	$Q_{C,k} = 4,925kN$
Rychlost zdvihu	$V_z = 0,8/5 \text{ m/min}$
Vedení pomocí nákoků, pohon jednotlivých kol	
Bezстыková kolejnice, připojená pomocí příložek a přichytek	
Skladový jeřáb, kategorie zvedacích zařízení HC2, kategorie S4	

**Zatížení**Svislé zatížení

Dynamické součinitele

$$\varphi_1 = 1,1$$

$$\varphi_2 = \varphi_{2,\min} + \beta_2 * V_z = 1,10 + 0,34 * 0,083 = 1,128$$

$$\varphi_3 = 1,0$$

$$\varphi_4 = 1,0$$

Zatížení kladkostroje  $Q_H$ 

$$\text{Tíha kočky + břemene} = 3,3 + 50 = 53,3\text{kN}$$

$$\text{Na více zatíženou větev:} \quad \Sigma Q_{H,\max} = \frac{53,3 * (7,5 - 1)}{7,5} = 46,193\text{kN}$$

$$\text{Na jedno kolo:} \quad Q_{H,\max} = \frac{46,193}{2} = 23,097\text{kN}$$

$$\text{Tíha samotné kočky} = 3,3\text{kN}$$

$$\Sigma Q_{H,\min} = \frac{3,3 * 1}{7,5} = 0,440\text{kN}$$

Svislé síly celkem

Maximální zatížení vyvolané zatíženým jeřábem na jednu větev jeřábové dráhy

$$\Sigma Q_{r,\max} = 2 * 4,925 + 46,193 = 56,043\text{kN}$$

Doprovodné zatížení vyvolané zatíženým jeřábem na jednu větev jeřábové dráhy

$$\Sigma Q_{r(\max)} = 2 * 4,925 + 53,3 - 46,193 = 16,957\text{kN}$$

Minimální zatížení vyvolané nezatíženým jeřábem na jednu větev jeřábové dráhy

$$\Sigma Q_{r,\min} = 2 * 4,925 + 0,440 = 10,290\text{kN}$$

Doprovodné zatížení vyvolané nezatíženým jeřábem na jednu větev jeřábové dráhy

$$\Sigma Q_{r(\min)} = 2 * 4,925 + 3,3 - 0,440 = 12,710\text{kN}$$

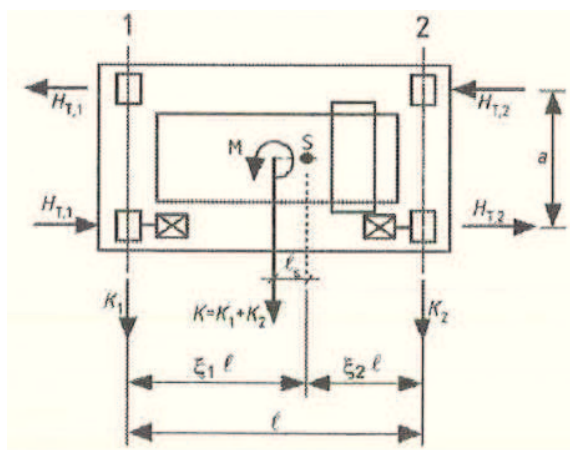
Síly s vlivem dynamických součinitelů, se pro jednotlivé skupiny zatížení určí dle tabulky.

Ze skupin 1 až 4 rozhoduje skupina 1 (nejvyšší hodnoty dynamických součinitelů). Dále je třeba uvážit skupiny 5 a 6.

Síly působící na nosník jeřábové dráhy (tab. 17)

Svislé síly působící na nosník					
Skupina zatížení		1		5, 6	
	Síla [kN]	$\phi_i$	Síla [kN]	$\phi_i$	Síla [kN]
Vlastní tíha $Q_c$	4,925	1,100	5,418	1,000	4,925
Zatížení kladkostroje $Q_H$	23,097	1,128	26,053	1,000	23,097
Celkem svislé $Q_{r,k}$	28,022		31,471		28,022
Celkem svislé $Q_{r,d}$			42,496		37,830

### Vodorovné síly od zrychlení mostového jeřábu $H_L$ $H_T$



Obr. č. 60 – působení vodorovných sil od zrychlení jeřábu

Hnací síla

Součinitel tření pro ocel  $\mu = 0,2$

Počet hnacích kol  $m_w = 2$

$$K = \mu * m_w * Q_{r,min} / 2 = 0,2 * 2 * 10,290 / 2 = 2,058 \text{ kN}$$

Podélná síla

Počet nosníků jeřábové dráhy  $n_r = 2$

Dynamický součinitel  $\varphi_5 = 1,5$

$$H_{L,i} = \varphi_5 * K / n_r = 1,5 * 2,058 / 2 = 1,544 \text{ kN}$$

Příčné síly

$$\xi_1 = \Sigma Q_{r,max} / \Sigma Q_r = \Sigma Q_{r,max} / (\Sigma Q_{r,max} + \Sigma Q_{r(max)}) = 56,043 / (56,043 + 16,957) = 0,768$$

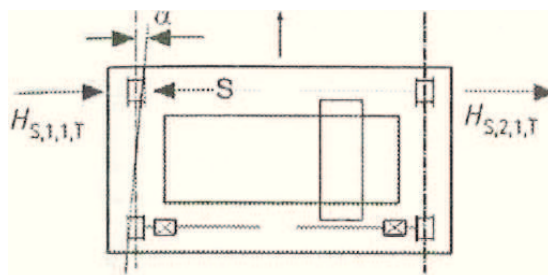
$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 1 - 0,768 = 0,232$$

$$L_s = (\xi_1 - 0,5) * L = (0,768 - 0,5) * 7,5 = 2,008 \text{ m}$$

$$M = K * L_s = 2,058 * 2,008 = 4,132 \text{ kNm}$$

$$H_{T1,k} = \varphi_5 * \xi_2 * M / O = 1,5 * 0,232 * 4,132 / 1,5 = 0,960 \text{ kN}$$

$$H_{T2,k} = \varphi_5 * \xi_1 * M / O = 1,5 * 0,768 * 4,132 / 1,5 = 3,172 \text{ kN}$$

Vodorovné síly od přičení  $H_s$ 

Obr. č. 61 – působení vodorovných sil od přičení

Úhel přičení

Šířka hlavy kolejnice (viz dále)

$$b = 0,055\text{m}$$

Vůle mezi kolejnicí a vodícími prostředky

$$0,75x = 0,01\text{m (pro nákolky kol)}$$

Opotřebení kolejnice a vodících prostředků

$$y = 10\%$$

$$\alpha = \alpha_F + \alpha_V + \alpha_0 = \frac{0,75x}{0} + \frac{y * b}{0} + 0,001 = \frac{0,01}{1,5} + \frac{0,1 * 0,055}{1,5} + 0,001 = 0,011\text{rad}$$

$$\text{Součinitel reakcí při přičení } f = 0,3 * (1 - e^{-250\alpha}) = 0,3 * (1 - e^{-250 * 0,011}) = 0,282 < 0,3$$

Vzdálenost h

Kombinace kol IFF – počet spojených dvojic

$$m = 0$$

$$e_1 = 0$$

$$e_2 = 0 = 1,5\text{m}$$

$$h = (m * \xi_1 * \xi_2 * L^2 + \sum e_j^2) / \sum e_j^2 = (0 + 1,5^2) / 1,5 = 1,5\text{m}$$

Součinitele sil  $\lambda$ 

Počet dvojic kol

$$n = 2$$

$$\lambda_{sj} = 1 - \frac{\sum e_j}{n * h} = 1 - \frac{0 + 1,5}{2 * 1,5} = 0,5$$

$$\lambda_{s,1,1,L} = \lambda_{s,1,2,L} = 0$$

$$\lambda_{s,1,1,T} = \frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{0,232}{2} \left(1 - \frac{0}{1,5}\right) = 0,116$$

$$\lambda_{s,1,2,T} = \frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) = \frac{0,232}{2} \left(1 - \frac{1,5}{1,5}\right) = 0$$

$$\lambda_{s,2,1,L} = \lambda_{s,2,2,L} = 0$$

$$\lambda_{s,2,1,T} = \frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{0,768}{2} \left(1 - \frac{0}{1,5}\right) = 0,384$$

$$\lambda_{s,2,2,T} = \frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) = \frac{0,768}{2} \left(1 - \frac{1,5}{1,5}\right) = 0$$



**Výpočet sil**

$$S = f * \lambda_s * \Sigma Q_r = 0,282 * 0,5 * (56,043 + 16,957) = 10,306 \text{ kN}$$

$$H_{s,1,j,L} = f * \lambda_{s,1,j,L} * \Sigma Q_r = 0 \text{ kN}$$

$$H_{s,2,j,L} = f * \lambda_{s,2,j,L} * \Sigma Q_r = 0 \text{ kN}$$

$$H_{s,1,j,T} = f * \lambda_{s,1,j,T} * \Sigma Q_r = 0,282 * 0,116 * (56,043 + 16,957) = 2,394 \text{ kN}$$

$$H_{s,2,j,T} = f * \lambda_{s,2,j,T} * \Sigma Q_r = 0,282 * 0,384 * (56,043 + 16,957) = 7,912 \text{ kN}$$

Výsledné síly působící na nosník jeřábové dráhy

$$H_{s,1,T,k} = S - H_{s,1,1,T} = 10,306 - 2,394 = 7,912 \text{ kN}$$

$$H_{s,2,T,k} = H_{s,2,1,T} = 7,912 \text{ kN}$$

**Zrychlení nebo brzdění kočky**

Toto zatížení je reprezentováno silou na nárazníky od pohybu kočky a rovná se 10% zatížení od kladkostroje  $Q_H$ .

$$H_{T3} = 0,1 * 53,3 = 5,33 \text{ kN}$$

Rozdělení síly na jednotlivá kola se provede s ohledem na polohu zatížení kladkostroje.

$$H_{T,3,1,k} = 5,33/2 * (7,5 - 1)/7,5 = 2,31 \text{ kN}$$

$$H_{T,3,2,k} = 5,33/2 * 1/7,5 = 0,355 \text{ kN}$$

**Vnitřní síly**

Skupina zatížení 1 rozhodující

**Svislé zatížení**

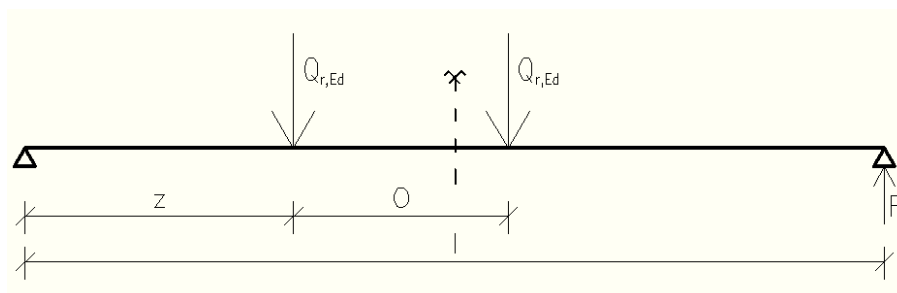
Délka nosníku jeřábové dráhy  $l = 6 \text{ m}$

Vlastní tíha nosníku + kolejnice (odhad)  $g_k = 1,4 \text{ kN/m}$ ;  $g_d = 1,4 * 1,35 = 1,89 \text{ kN/m}$

Reakce  $R_{g,d} = g_d * l/2 = 1,89 * 6/2 = 5,67 \text{ kN}$

Moment  $M_{g,y,Ed} = g_d * l^2/8 = 1,89 * 6^2/8 = 8,51 \text{ kNm}$

Zatížení jeřábem

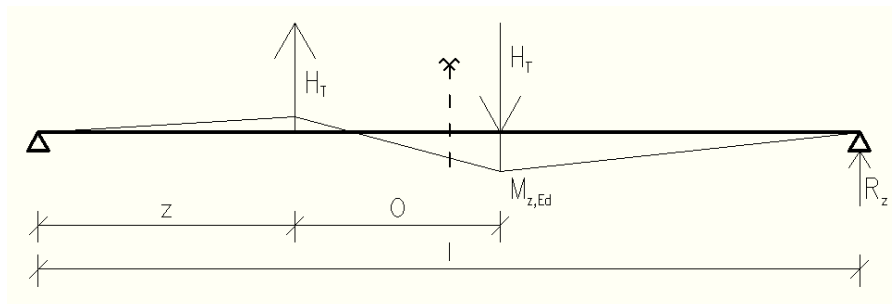


Obr. č. 62 – svislé zatížení nosníku jeřábové dráhy

Rozhodující vzdálenost jeřábu od okraje nosníku	$z = 1,875\text{m}$
Reakce	$R = 37,18\text{kN}$
Moment	$M_{q,y,Ed} = 97,61\text{kNm}$

#### Vodorovné zatížení – zrychlení mostového jeřábu $H_{L,d}$ , $H_{T,d}$

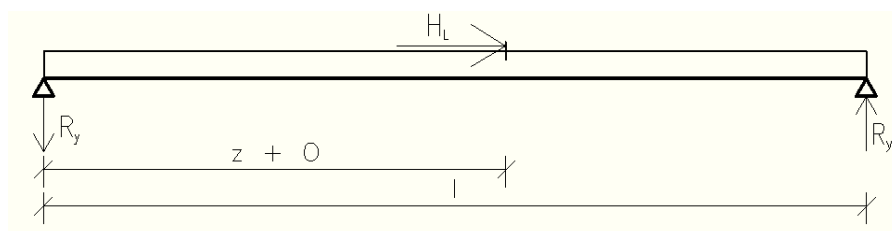
Návrhové síly	$H_{L,d} = \gamma_{G,sup} * H_{L,k} = 1,35 * 1,54 = 2,08\text{kN}$
	$H_{T,d} = \gamma_{G,sup} * H_{T,k} = 1,35 * 3,17 = 4,28\text{kN}$



Obr. č. 63 – příčné zatížení nosníku jeřábové dráhy

Reakce	$R_{z,a,Ed} = H_{T,d} * O/l = 4,28 * 1,5/6 = 1,07\text{kN}$
Moment ve vodorovné rovině	$M_{z,Ed} = R_{z,a,Ed} * (l - z - O) = 1,07 * (6 - 1,875 - 1,5) = 2,81\text{kNm}$

#### Moment ve svislé rovině – statické schéma



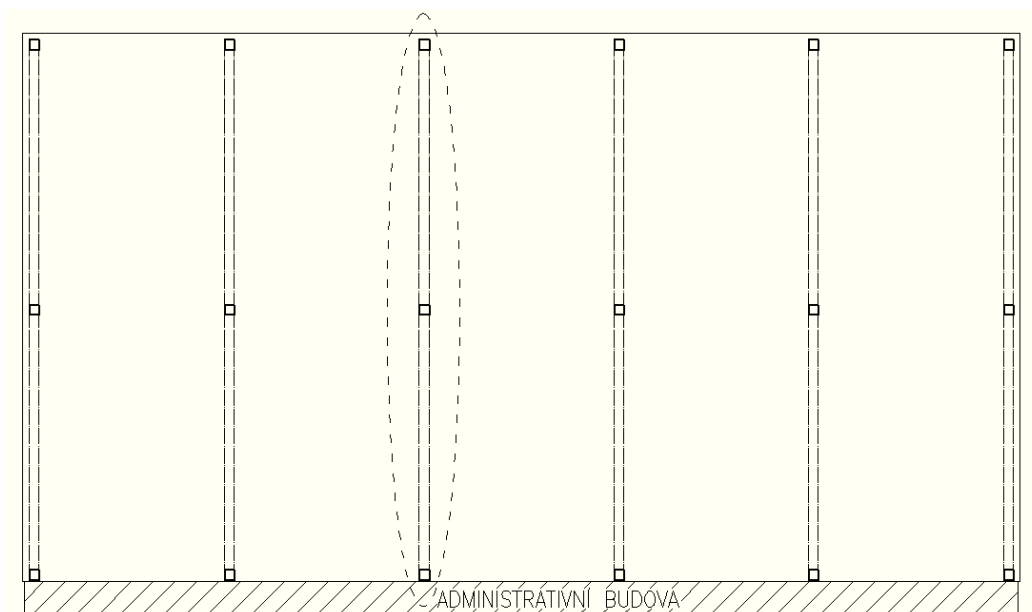
Obr. č. 64 – podélné zatížení nosníku jeřábové dráhy

Výška nosníku (HEB 260)	$h_n = 0,26\text{m}$
Reakce	$R_{y,h} = H_{L,d} * h_n/l = 2,08 * 0,26/6 = 0,09\text{kN}$
Moment	$M_{h,y,Ed} = R_y * (z + O) = 0,1 * (1,875 + 1,5) = 0,31\text{kNm}$

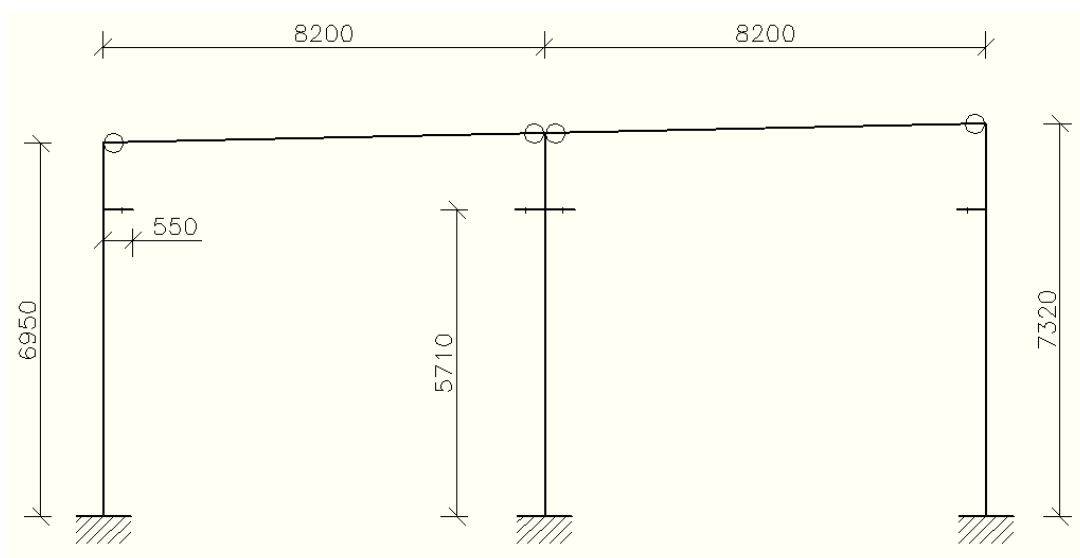
#### Celkem moment ve svislé rovině

$$M_{y,Ed} = M_{g,y,Ed} + M_{q,y,Ed} + M_{h,y,Ed} = 8,51 + 97,61 + 0,31 = 106,42\text{kNm}$$

#### 4.1.6 Zatěžovací stavy



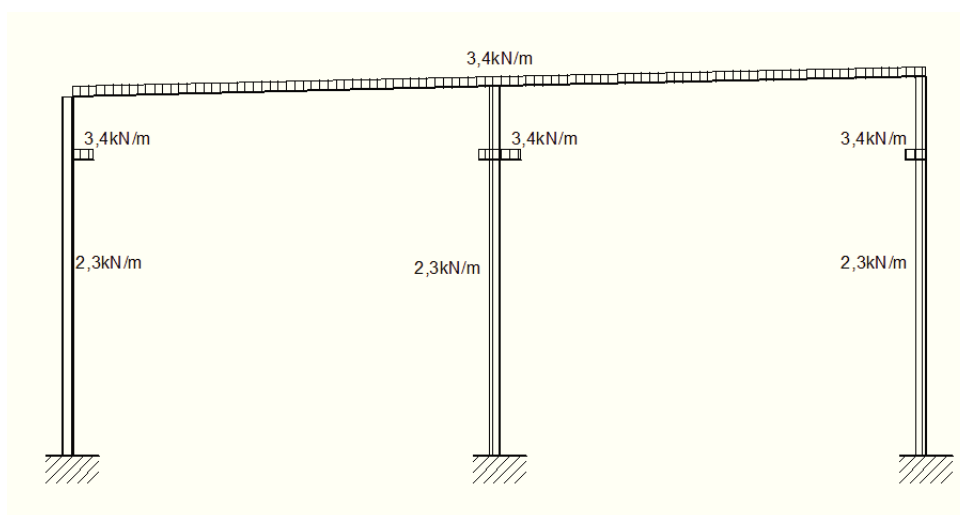
Obr. č. 65 – vybraný rám pro posouzení



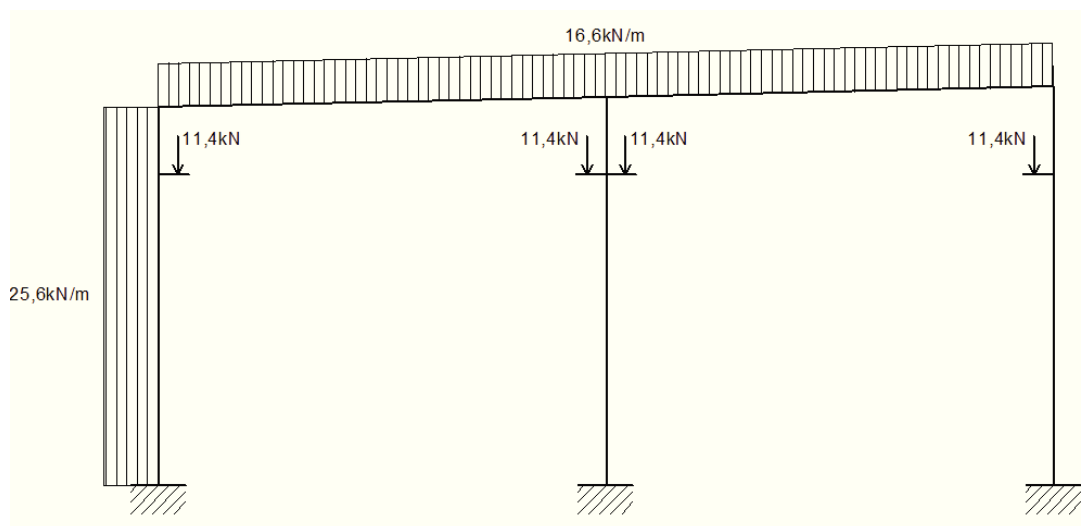
Obr. č. 66 – geometrie vybraného rámu pro posouzení

Rozměry prvků	průvlaky	0,45 x 0,3m
	sloupy	0,3 x 0,3m

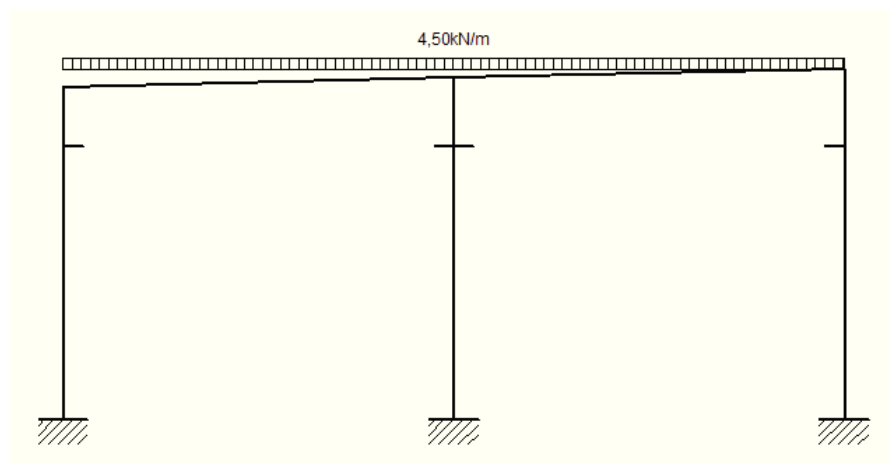
Působící zatížení      vlastní tíha  
                                  stálé (viz tab. 14; 15)  
                                  užité (viz tab. 16)  
                                  sníh (viz 4.1.3)  
                                  vítr (viz 4.1.4)  
                                  jeřábová dráha (viz 4.1.5)



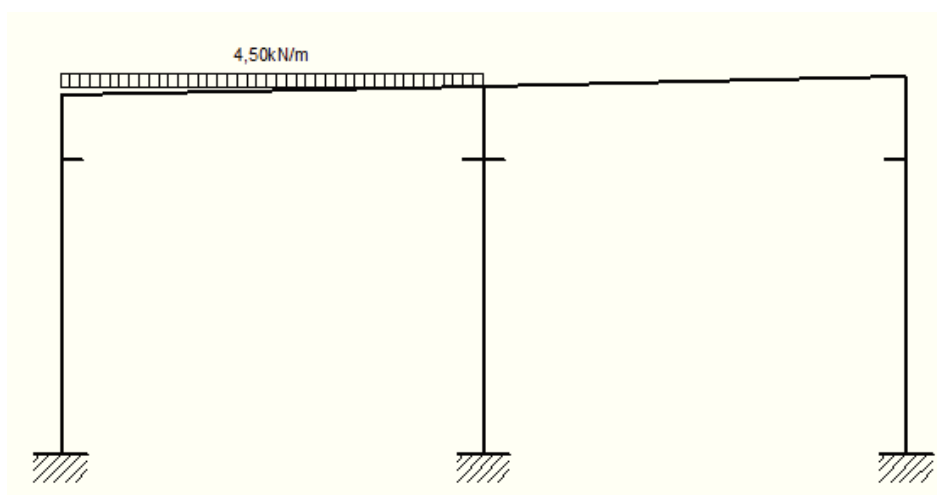
Obr. č. 67 – zatížení vlastní tíhou rámu ( $g_k$ )



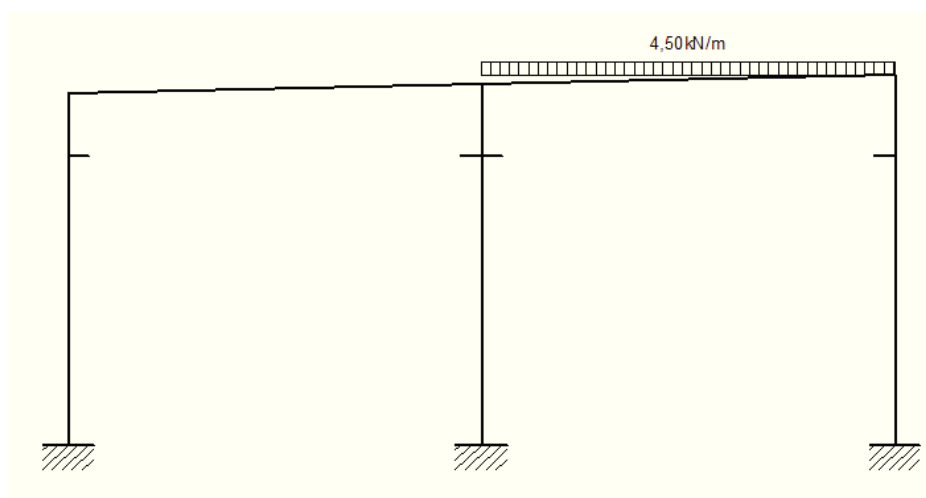
Obr. č. 68 – zatížení stálé ( $g_k$ )



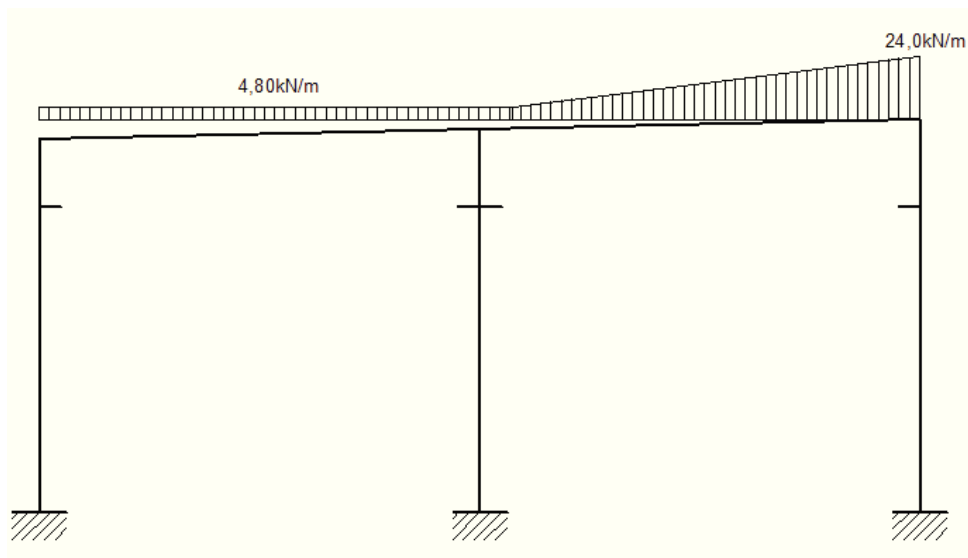
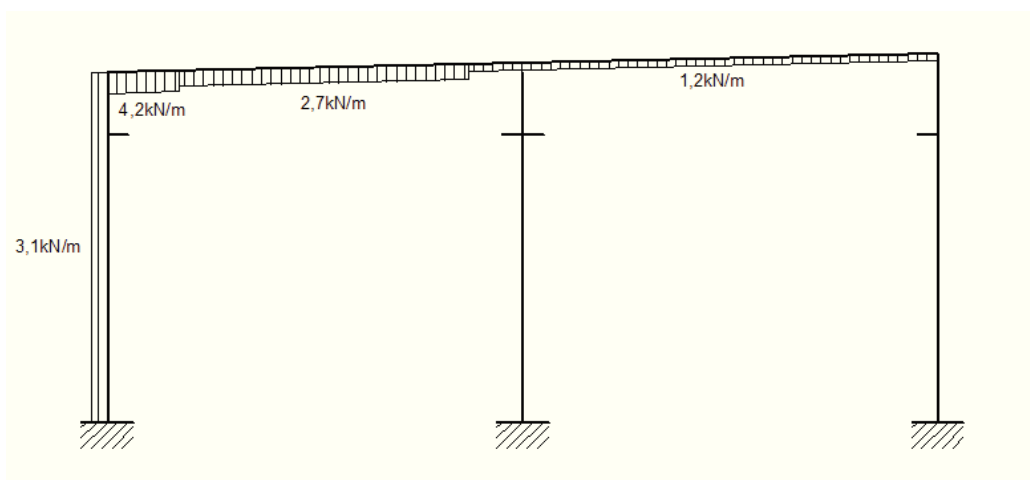
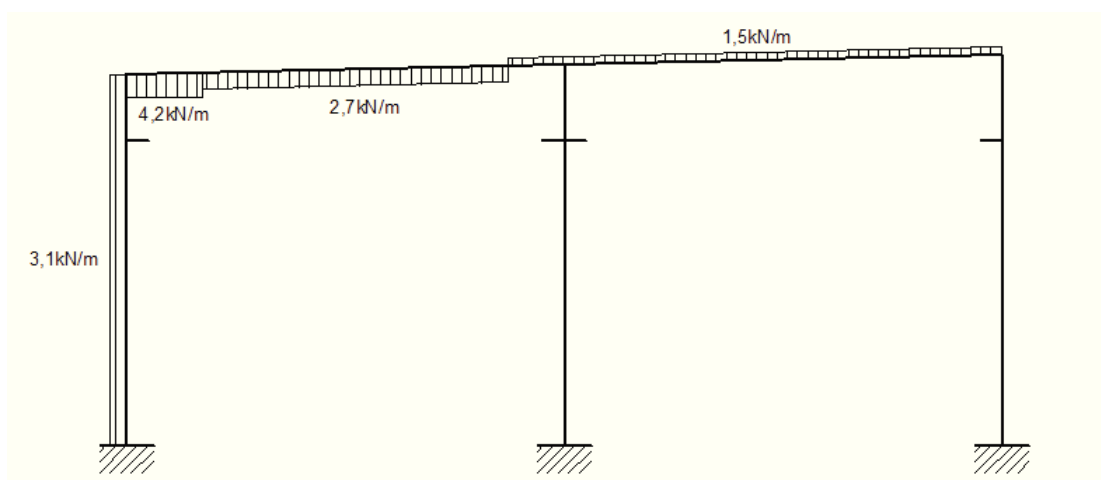
Obr. č. 69 – zatížení užité – střecha kat. H ( $q_{kH}$ )

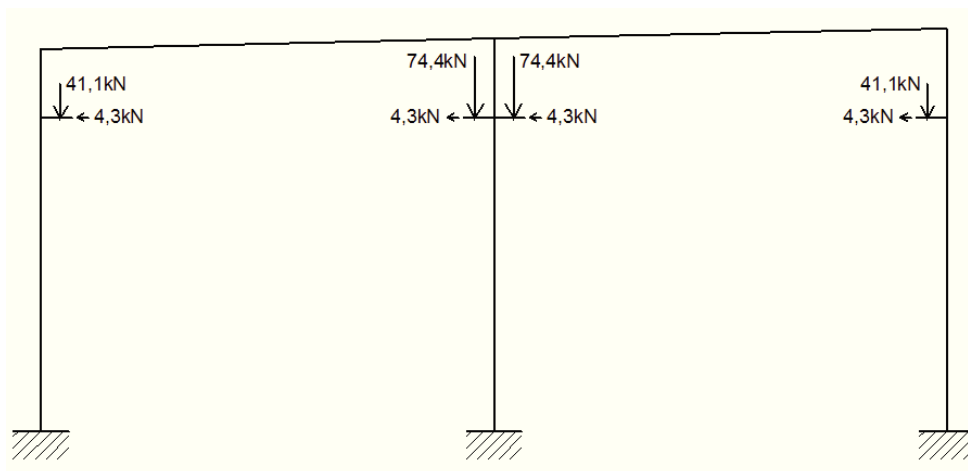


Obr. č. 70 – zatížení užité – střecha kat. H ( $q_{kH1}$ )

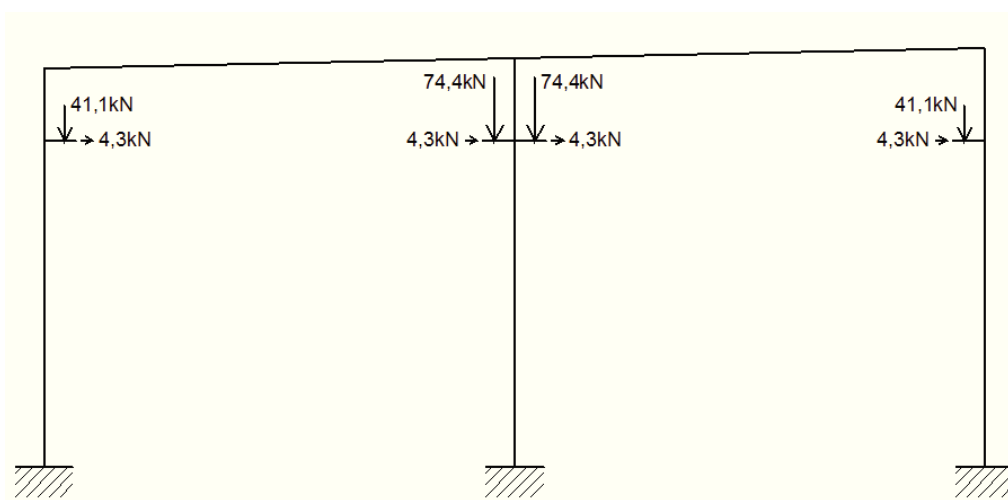


Obr. č. 71 – zatížení užité – střecha kat. H ( $q_{kH2}$ )

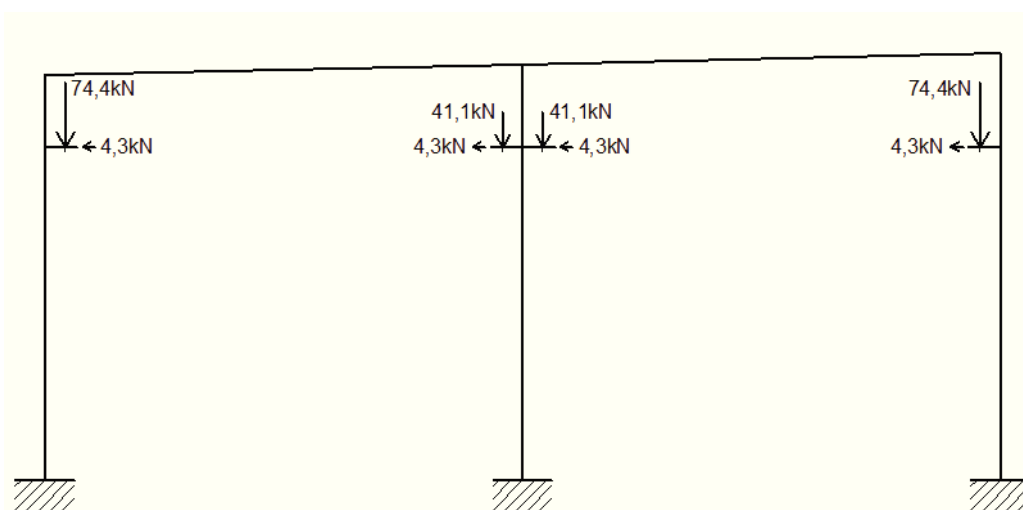
Obr. č. 72 – zatížení sněhem ( $q_{ks}$ )Obr. č. 73 – zatížení větrem ( $q_{kv}$ )Obr. č. 74 – zatížení větrem ( $q_{kv1}$ )



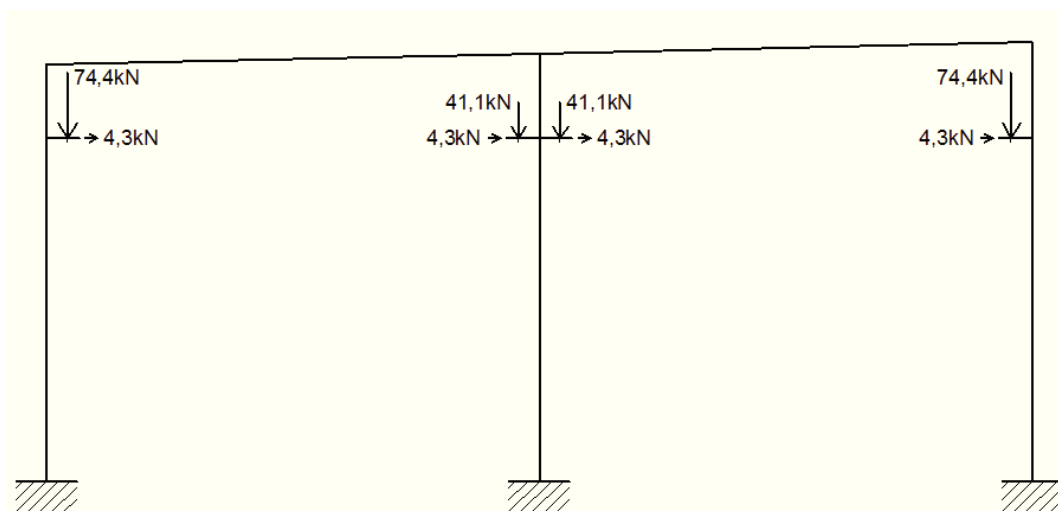
Obr. č. 75 – zatížení jeřábovou drahou ( $q_{kvj}$ )



Obr. č. 76 – zatížení jeřábovou drahou ( $q_{kvj1}$ )



Obr. č. 77 – zatížení jeřábovou drahou ( $q_{kvj2}$ )

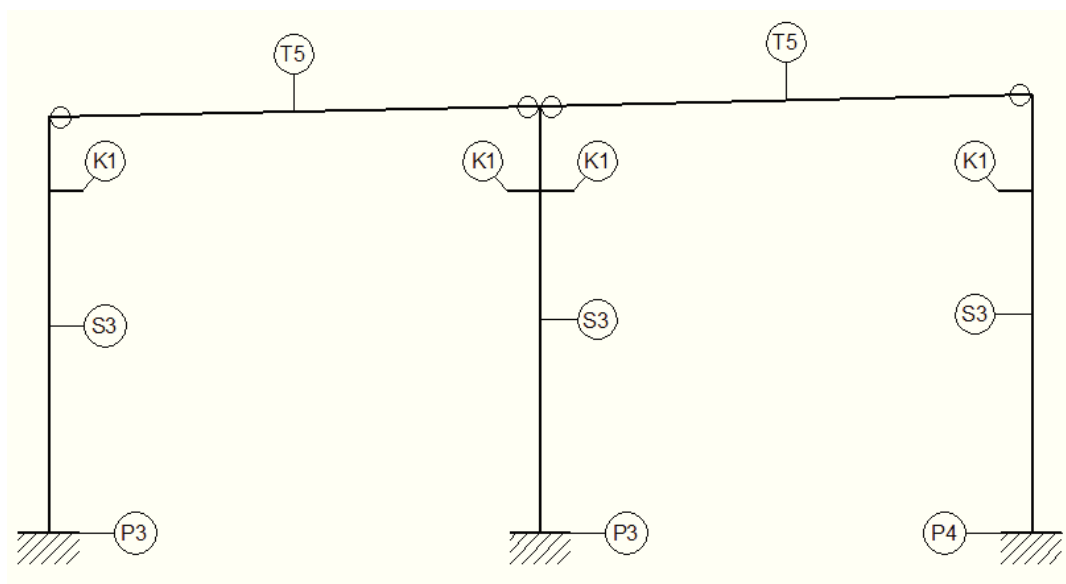
Obr. č. 78 – zatížení jeřábovou drahou ( $q_{kvj3}$ )

#### 4.1.7 Kombinace zatížení

##### Rám (3)

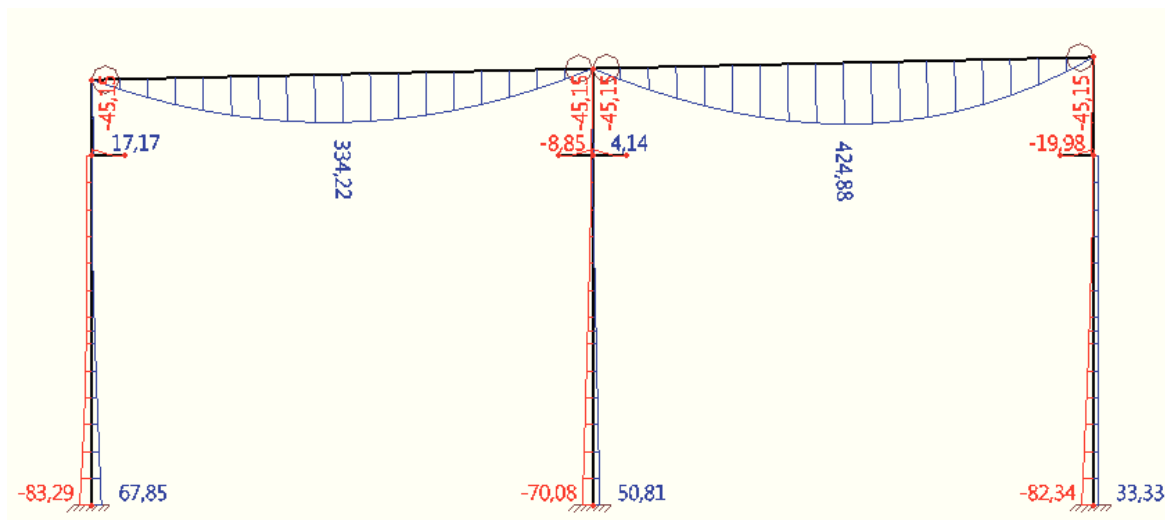
Označení prvků skeletu:

- S3 – sloup
- T5 – průvlak
- P3; P4 – patka
- K1 – konzola



Obr. č. 79 – označení prvků skeletu – rám (3)





Obr. č. 80 – obalová křivka ohybových momentů rámu (3)

**Rozhodující kombinace pro vyvození maximálních vnitřních sil v rámu**

Sloup S3:

$$M_{Ed} = 1,00 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{kv} + 1,05 \cdot q_{kj1} = 83,29 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot g_k + 0,9 \cdot q_{ks} + 1,5 \cdot q_{kj1} = 570,15 \text{ kN}$$

Průvlak T5:

$$M_{Ed}^+ = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{ks} + 0,9 \cdot q_{kv1} = 424,88 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^- = 0,00 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{ks} + 0,9 \cdot q_{kv1} = 228,35 \text{ kN}$$

Základová patka P3:

$$M_{Ed,x} = 1,00 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{kv} + 1,05 \cdot q_{kj1} = 83,29 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y} = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{kv} + 1,05 \cdot q_{kj} = 73,70 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot g_k + 0,9 \cdot q_{ks} + 1,5 \cdot q_{kj1} = 570,15 \text{ kN}$$

Základová patka P4:

$$M_{Ed,x} = 1,35 \cdot g_k + 0,9 \cdot q_{ks} + 0,9 \cdot q_{kv1} + 1,5 \cdot q_{kj3} = 82,34 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y} = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{kv} + 1,05 \cdot q_{kj1} = 26,49 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_{ks} + 0,9 \cdot q_{kv1} + 1,05 \cdot q_{kj2} = 128,63 \text{ kN}$$

## 4.2 Statické posouzení

### Materiálové vlastnosti

Beton C30/37  
 $f_{ck} = 30,0\text{MPa}$   
 $\gamma_c = 1,5$   
 $f_{ctm} = 2,9\text{MPa}$   
 $f_{ctk,0,05} = 2,0\text{MPa}$   
 $E_{cm} = 32,0\text{GPa}$

Betonářská výztuž B550B  
 $f_{yk} = 550,0\text{MPa}$   
 $\gamma_s = 1,15$   
 $E_s = 200,0\text{GPa}$

Ocel S355  
 $f_y = 355\text{MPa}$   
 $E = 210\text{GPa}$   
 $G = 81\text{GPa}$

### Nominální krytí výztuže

Třída konstrukce S4 (návrhová životnost 50let)

Prostředí XC1 (schodiště, podestové nosníky, průvlaky, sloupy)

→  $c_{nom} = 25\text{mm}$

XC4 (základové patky)

→  $c_{nom} = 40\text{mm}$

#### 4.2.1 Nosník jeřábové dráhy

<b>Nosník</b>	HEB 260
	$m = 92,9 \text{ kg/m}$
	$A = 1,18 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$
	$I_y = 1,49 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$
	$I_z = 5,14 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
	$W_y = 1,15 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
	$W_{pl,y} = 1,28 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
	$W_z = 3,95 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
	$W_{pl,z} = 6,02 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
	$I_t = 1,24 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
	$I_w = 7,54 \cdot 10^{11} \text{ mm}^6$
Výška nosníku	$h = 260 \text{ mm}$
Šířka nosníku	$b = 260 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice	$t_f = 17,5 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny	$t_w = 10 \text{ mm}$
Třída průřezu	1

<b>Kolejnice</b>	JKL55
	$m = 29,6 \text{ kg/m}$
	$I_y = 3,10 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$
Výška	$h_r = 85 \text{ mm}$
Šířka základny	$b_r = 100 \text{ mm}$
Pojízdná šířka kolejnice	$b_r = 55 \text{ mm}$

**Posouzení**

Nosník se posoudí na kombinaci dvojsového ohybu s kroucením pomocí přílohy A normy.

**Kroucení**

Koeficienty pro volnou deponaci a obecné zatížení  $\alpha = 3,7$

$$\beta = 1,08$$

$$K_t = I * \sqrt{\frac{G * I_t}{E * I_w}} = 6 * \sqrt{\frac{81 * 1,24 * 10^6}{210 * 7,54 * 10^{11}}} = 4,776$$

$$\kappa = \frac{1}{\beta + \left(\frac{\alpha}{K_t}\right)^2} = \frac{1}{1,08 + \left(\frac{3,7}{4,776}\right)^2} = 0,595$$

Excentricita působíště kolového zatížení  $e_y = 0,25 * b_r = 0,25 * 0,055 = 0,014\text{m}$

Vzdálenost pojížděného povrchu od osy nosníku  $e_z = 0,5h + h_r = 0,130 + 0,085 = 0,215\text{m}$

$$\begin{aligned} \text{Bimoment } B_{Ed} &= (M_{z,Ed} * e_z + M_{y,Ed} * e_y) * (1 - \kappa) = \\ &= (2,811 * 0,215 + 106,44 * 0,014) * (1 - 0,595) = 0,84\text{kN/m}^2 \end{aligned}$$

Výšečová pořadnice  $\omega = b * h_f/4 = 280 * (260 - 17,5)/4 = 15763$

Normálové napětí od vázaného kroucení

$$\sigma_{w,Ed} = B_{Ed} * \omega / I_w = 0,84 * 10^9 * 15763 / 7,54 * 10^{11} = 175,05\text{MPa}$$

**Klopení**

Je možné počítat se stabilizačním účinkem vodorovného posuvu v působíšti kola, který vede k omezení natočení způsobeného kroucením. Může se předpokládat, že svislá reakce kola působí v úrovni středu smyku, tj. že vzdálenost působíště zatížení od středu smyku  $z_g = 0$ .

Zatěžovací schéma je obecné a součinitele  $C_1$  pro příslušný průběh momentů tudíž nejsou tabelovány. Moment proto určíme pomocí software. Použijeme program LTBeam, který je volně dostupný na internetu.

Nalezený kritický moment

$$M_{cr} = 768,2\text{kNm}$$

Součinitel imperfekt (křivka vzpěrnosti A)

$$\alpha_{LT} = 0,21$$

Poměrná štíhlost při klopení

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,28 * 10^3 * 355}{768200}} = 0,770$$

Pomocný součinitel

$$\begin{aligned} \Phi_{LT} &= 0,5 * [1 + \alpha_{LT} * (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta * \lambda_{LT}^2] = \\ &= 0,5 * (1 + 0,21 * (0,77 - 0,2) + 0,77^2) = 0,856 \end{aligned}$$

$$\text{Součinitel klopení} \quad \chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0,856 + \sqrt{0,856^2 - 0,770^2}} = 0,812$$

Potřebné součinitele

$$C_{mz} = 0,9$$

$$k_w = 0,7 - \frac{0,2 * \sigma_{w,Ed}}{f_{yd}} = 0,7 - \frac{0,2 * 175,05}{355} = 0,601$$

$$k_{zw} = 1 - \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} f_{yd}} = 1 - \frac{2,811}{602,2 * 355} = 1$$

$$k_\alpha = \frac{1}{1 - M_{y,Ed}/M_{cr}} = \frac{1}{1 - 106,42/768,2} = 1,161$$

Podmínka pro posouzení

$$\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd}} + \frac{C_{mz} * M_{z,Ed}}{W_{pl,z} * f_{yd}} + \frac{k_w * k_{zw} * k_\alpha * \sigma_{w,Ed}}{f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{106,42}{0,812 * 1,283 * 355} + \frac{0,9 * 2,811}{0,602 * 355} + \frac{0,601 * 1 * 1,161 * 175,05}{355} = 0,644 \leq 1 \quad \dots \text{vyhovuje}$$

### Lokální namáhání stojiny

Moment setrvačnosti průřezu kolejnice, po odečtení 25% nejmenší tloušťky pod

pojížděným povrchem na vliv opotřebení  $I_r = 2,26 * 10^5 \text{ mm}^4$

$$\text{Efektivní šířka} \quad b_{eff} = b_r + h_r + t_f = 100 + 85 + 17,5 = 202,5 \text{ mm}$$

$$\text{Efektivní moment setrvačnosti} \quad I_{f,eff} = b_{eff}^3 * t_f / 12 = 203^3 * 17,5 / 12 = 90440 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} \text{Účinná roznášecí délka} \quad l_{eff} &= 3,25 * [(I_r + I_{f,eff}) / t_w]^{1/3} = \\ &= 3,25 * [(2,26 * 10^5 + 90440) / 17,5]^{1/3} = 102,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Roznášecí délka na horním p. pásnice} \quad s_s = l_{eff} - 2 * t_f = 102,8 - 2 * 17,5 = 67,8 \text{ mm}$$

$$\text{Součinitel} \quad m_1 = b_f / t_w = 260 / 10 = 26,0$$

$$\text{Součinitel} \quad m_2 = 0$$

$$\begin{aligned} \text{Účinná zatížená délka} \quad l_y &= s_s + 2 * t_f * (1 + (m_1 + m_2)^{0,5}) = \\ &= 67,8 + 2 * 17,5 * (1 + (26 + 0)^{0,5}) = 281,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Součinitel} \quad k_f = 6 + 2 * (h_w / a)^2 = 6 + 2 * (0,225 / 6)^2 = 6,003$$

$$\begin{aligned} \text{Kritická síla pro boulení stojiny} \quad F_{cr} &= 0,9 * k_f * E * t_w^3 / h_w = \\ &= 0,9 * 6,003 * 210000 * 10^3 / 225 = 5042,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Poměrná štíhlost} \quad \lambda_F = \sqrt{\frac{l_y * t_w * f_{yw}}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{281,3 * 10 * 355}{5042,4}} = 0,445$$

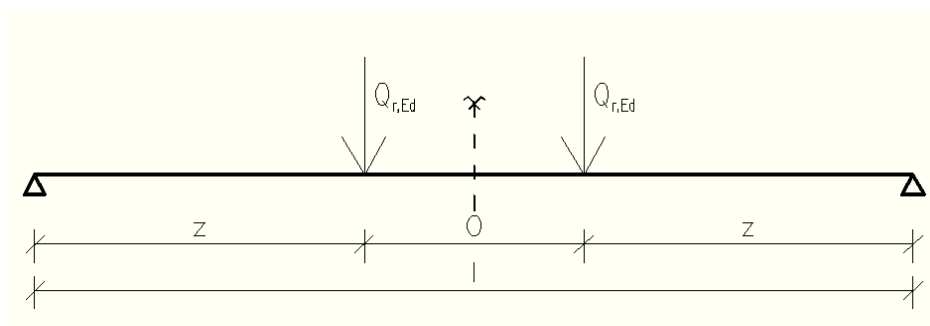
Součinitel lokálního boulení	$\chi_F = 0,5/\lambda_F = 0,5/0,445 = 1,12 > 1 \dots 1$
Účinná délka pro únosnost na příčné síly	$L_{eff} = \chi_F * l_y = 1 * 281,3 = 281,3\text{mm}$
Návrhová únosnost v lokálním boulení	$F_{Rd} = L_{eff} * t_w * f_{yd} = 281,3 * 10 * 355 =$ $= 998,5\text{kN} > Q_{Ed} = 42,492\text{kN} \dots \text{vyhovuje}$

### Průhyb

Svislý průhyb od stálého zatížení  $\delta_1 = \frac{5}{384} * \frac{g_k l^4}{E * I_y} = \frac{5}{384} * \frac{1,4 * 6^4}{210 * 1,49 * 10^2} = 0,754\text{mm}$

Svislý průhyb od pohyblivého zatížení.

Maximální průhyb při vzdálenosti zatížení  $z = 2,25\text{m}$  od okraje nosníku.



Obr. č. 81 – poloha zatížení pro zjištění maximálního průhybu

$\delta_2 = 2 * Q_{r,k} * \eta * l^3 / E * I_y = 2 * 31,48 * 0,019 * 6^3 / 210 * 1,49 * 10^2 = 8,190\text{mm}$

Celkový svislý průhyb  $\delta_{1+2} = \delta_1 + \delta_2 = 0,754 + 8,190 = 8,944\text{mm}$

Limitní svislý průhyb  $\delta_{lim} = l/600 = 6000/600 = 10\text{mm} > \delta_{1+2} = 8,95\text{mm}$   
... vyhovuje

Vodorovný průhyb  $\delta_v = H_{T,d} * l^3 / 48 * E * I_z =$

$= 4,28 * 6^3 / 48 * 210 * 0,051 = 1,787\text{mm}$

Limitní vodorovný průhyb  $\delta_{v,lim} = l/600 = 6000/600 = 10\text{mm} > \delta_v = 1,79\text{mm}$

... vyhovuje

**Únavová pevnost**

Dynamický součinitel	$\delta = 1,1$
Parciální součinitel při únavě	$\gamma_{FF} = 1,0$
Součinitel bezpečné životnosti	$\gamma_{Mf} = 1,35$

Největší účinky od zatížení v nejnepříznivější poloze

Největší síla s vlivem dynamického účinku  $P_{Ed} = 42,496 \text{ kN}$

Maximální ohybový moment  $M_{Ed} = 106,440 \text{ kNm}$

Největší napětí od únavového zatížení v krajních vláknech

$$\sigma_{\max} = M_{Ed}/W_y = 106,44/1,15 = 92,698 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\min} = 0 \text{ MPa}$$

Rozkmit napětí  $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} = 92,698 \text{ MPa}$

Únavový detail – pásnice v místě otvoru pro šroub k uchycení kolejnice jeřábové dráhy

Průměr otvoru pro šroub  $d = 17 \text{ mm}$

Kategorie detailu KD 90

Mez únavy při konstantní amplitudě  $\Delta\sigma_D = 0,737 * \Delta\sigma_C = 0,737 * 90 = 66,33 \text{ MPa}$

Prahový rozkmit  $\Delta\sigma_L = 0,737 * \Delta\sigma_D = 0,549 * 66,33 = 36,42 \text{ MPa}$

Počet cyklů  $n = 2\,000\,000$

Posouzení únavové pevnosti jeřábové dráhy (tab. 18)

Procento zatížení	$\Delta\sigma$ MPa	$\Delta\sigma * \gamma_{MF}$ MPa	Procento cyklů	P. cyklů $n_i / 10^6$	$N_i/10^6$	$n_i/N_i$
100	92,7	125,1	5	0,1	0,745	0,134
80	74,2	100,1	10	0,2	1,454	0,138
60	55,6	75,1	15	0,3	3,447	0,087
40	37,1	50,1	45	0,9	11,634	0,077
30	27,8	37,5	25	0,5	27,576	0,018
CELKEM				2,0		0,454
$\gamma_M$		1,35				
Kategorie detailu		90	0,454	<	1	
Mez únavy		66,330 MPa	DETAIL VYHOVUJE			
Prahový rozkmit		36,415 MPa				

#### 4.2.2 Průvlak

##### Průvlak T5

Rozměry	$h = 0,6\text{m}$ $b = 0,3\text{m}$
Max. vnitřní síly	$M_{Ed}^+ = 424,88\text{kNm}$ $M_{Ed}^- = 0,00\text{kNm}$ $V_{Ed} = 228,35\text{kN}$
Nominální krytí výztuže	$c_{nom} = 25\text{mm}$

##### Mezní stav únosnosti

##### Návrh a posouzení výztuže při dolním okraji prvku

Návrh	$\phi = 25\text{mm}$ $n = 4\text{ks}$
Plocha výztuže	$A_s = n \cdot \pi \cdot (\phi/2)^2 = 4 \cdot 3,142 \cdot (0,025/2)^2 = 0,001963\text{m}^2$
Síla ve výztuži	$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 0,001963 \cdot 550 \cdot 10^3 / 1,15 = 939,063\text{kN}$
Výška tlačené oblasti betonu	$x = F_s / (0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}) = 939,063 \cdot 1,5 / (0,8 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 30,0 \cdot 10^3) = 0,196\text{m}$
Účinná výška průřezu	$d = h - c_{nom} - \phi/2 = 0,6 - 0,025 - 0,025/2 = 0,563\text{m}$
Posouzení únosnosti	$M_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4x) = 939,063 \cdot (0,563 - 0,4 \cdot 0,196) = 454,736\text{kNm}$ $M_{Rd} \geq M_{Ed}$ $454,736\text{kNm} > 424,88\text{kNm}$ <span style="float: right;">vyhovuje</span>

##### **Konstrukční zásady**

##### Minimální plocha výztuže

$$A_{s,min} = \max(0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b_t \cdot d / f_{yk}; 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,26 \cdot 2,9 \cdot 0,3 \cdot 0,563 / 550; 0,0013 \cdot 0,3 \cdot 0,563 = 0,000231; 0,000219) = 0,000231\text{m}^2$$

##### Maximální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,6 \cdot 0,3 = 0,007200\text{m}^2$$

$$A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,max}$$

$$0,000231\text{m}^2 < 0,001963\text{m}^2 < 0,007200\text{m}^2 \quad \text{vyhovuje}$$



## Omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = x/d = 0,196/0,563 = 0,348$$

$$\xi_{bal} = 700/(700 + f_{yd}) = 700/(700 + 550/1,15) = 0,594$$

$$\xi_{bal} \geq \xi$$

$$0,594 > 0,348$$

vyhovuje

## Maximální osová vzdálenost prutů

$$s_{o,max} = \min(2h; 0,250 = 2 \cdot 0,600; 0,250 = 1,200; 0,250) = 0,250m$$

$$s_o = (b - 2c_{nom} - \phi) / (n - 1) = (0,3 - 2 \cdot 0,025 - 0,025) / (4 - 1) = 0,075m$$

$$s_{o,max} \geq s_o$$

$$0,250m > 0,075m$$

vyhovuje

## Minimální světlá vzdálenost mezi pruty

$$s_s = s_o - \phi = 0,075 - 0,025 = 0,050m$$

$$s_{s,min} = \max(k_1 \cdot \phi; d_g + k_2; 0,020 = 1 \cdot 0,025; 0,016 + 0,005; 0,020 = 0,025; 0,021; 0,020) = 0,025m$$

$$s_s \geq s_{s,min}$$

$$0,050m > 0,025m$$

vyhovuje

## Kotevní délka

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0,05} / \gamma_c = 1 \cdot 2,0 / 1,5 = 1,333$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,333 = 3MPa$$

$$l_{b,rqd} = (\phi/4) \cdot f_{yd} / f_{bd} = (25/4) \cdot 550 / 1,15 / 3,0 = 0,996m$$

$$l_b = 1,000m$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\phi; 0,1 = 0,3 \cdot 0,996; 10 \cdot 0,025; 0,1 = 0,299; 0,25; 0,1) = 0,299m$$

$$l_b \geq l_{b,rqd}$$

$$1,000m > 0,299m$$

vyhovuje

## Návrh a posouzení výztuže při horním okraji prvku

## Návrh

$$\phi = 10mm$$

$$n = 4ks$$

## Plocha výztuže

$$A_s = n \cdot \pi \cdot (\phi/2)^2 = 4 \cdot 3,142 \cdot (0,01/2)^2 = 0,000314m^2$$

## Síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 0,000314 \cdot 550 \cdot 10^3 / 1,15 = 150,250kN$$

## Výška tlačené oblasti betonu

$$x = F_s / (0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}) = 150,250 \cdot 1,5 / (0,8 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 30,0 \cdot 10^3) = 0,031m$$

Účinná výška průřezu

$$d = h - c_{\text{nom}} - \phi/2 = 0,6 - 0,025 - 0,01/2 = 0,570\text{m}$$

Únosnost

$$M_{\text{Rd}} = F_s \cdot (d - 0,4x) = 150,250 \cdot (0,570 - 0,4 \cdot 0,031) = 83,761\text{kNm}$$

### Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže

$$\begin{aligned} A_{s,\text{min}} &= \max(0,26 \cdot f_{\text{ctm}} \cdot b_t \cdot d / f_{yk}; 0,0013 \cdot b_t \cdot d = \\ &= 0,26 \cdot 2,9 \cdot 0,3 \cdot 0,570 / 550; 0,0013 \cdot 0,3 \cdot 0,570 = \\ &= 0,000234; 0,000222) = 0,000234\text{m}^2 \end{aligned}$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s,\text{max}} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,6 \cdot 0,3 = 0,007200\text{m}^2$$

$$A_{s,\text{min}} \leq A_s \leq A_{s,\text{max}}$$

$$0,000234\text{m}^2 < 0,000314\text{m}^2 < 0,007200\text{m}^2 \quad \text{vyhovuje}$$

Omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = x/d = 0,031/0,570 = 0,055$$

$$\xi_{\text{bal}} = 700/(700 + f_{yd}) = 700/(700 + 550/1,15) = 0,594$$

$$\xi_{\text{bal}} \geq \xi$$

$$0,594 > 0,055 \quad \text{vyhovuje}$$

Maximální osová vzdálenost prutů

$$s_{o,\text{max}} = \min(2h; 0,250 = 2 \cdot 0,600; 0,250 = 1,200; 0,250) = 0,250\text{m}$$

$$s_o = (b - 2c_{\text{nom}} - \phi) / (n - 1) = (0,3 - 2 \cdot 0,025 - 0,010) / (4 - 1) = 0,080\text{m}$$

$$s_{o,\text{max}} \geq s_o$$

$$0,250\text{m} > 0,080\text{m} \quad \text{vyhovuje}$$

Minimální světlá vzdálenost mezi pruty

$$s_s = s_o - \phi = 0,080 - 0,010 = 0,070\text{m}$$

$$\begin{aligned} s_{s,\text{min}} &= \max(k_1 \cdot \phi; d_g + k_2; 0,020 = 1 \cdot 0,010; 0,016 + 0,005; 0,020 = \\ &= 0,010; 0,021; 0,020) = 0,021\text{m} \end{aligned}$$

$$s_s \geq s_{s,\text{min}}$$

$$0,070\text{m} > 0,021\text{m} \quad \text{vyhovuje}$$

Kotevní délka

$$f_{\text{ctd}} = \alpha_{\text{ct}} \cdot f_{\text{ctk};0,05} / \gamma_c = 1 \cdot 2,0 / 1,5 = 1,333$$

$$f_{\text{bd}} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{\text{ctd}} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,333 = 3\text{MPa}$$

$$l_{b,\text{rqd}} = (\phi/4) \cdot f_{yd} / f_{\text{bd}} = (10/4) \cdot 550 / 1,15 / 3,0 = 0,399\text{m}$$

$$l_b = 0,400\text{m}$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\phi; 0,1 = 0,3 \cdot 0,399; 10 \cdot 0,010; 0,1 = 0,120; 0,1; 0,1) = 0,120\text{m}$$

$$l_b \geq l_{b,rqd}$$

$$0,400\text{m} > 0,120\text{m} \quad \text{vyhovuje}$$

### Únosnost ve smyku

Návrhová únosnost prvku bez smykové výztuže

$$\rho_1 = A_{sl}/b_w \cdot d = 0,000314/0,3 \cdot 0,570 = 0,002$$

$$k = 1 + (200/d)^{0,5} = 1 + (200/570)^{0,5} = 1,592$$

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} \cdot k(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d =$$

$$= (0,12 \cdot 1,592 \cdot (100 \cdot 0,002 \cdot 30)^{1/3} + 0) \cdot 0,3 \cdot 0,570 = 57,717\text{kN}$$

Minimální smyková únosnost bez smykové výztuže

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,592^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,385$$

$$V_{Rdc,min} = v_{min} \cdot b_w \cdot d = 0,385 \cdot 0,3 \cdot 0,570 \cdot 1000 = 65,869\text{kN}$$

$$V_{Rdc,min} \geq V_{Ed}$$

$$65,869 < 228,350\text{kN} \quad \text{je nutno navrhnout smykovou výztuž}$$

Posouvající síla, kterou přenesou smyková výztuž

**Návrh**

$$\phi_{tr} = 8\text{mm}$$

$$n = 4 - \text{střížný}$$

$$s_t = 210\text{mm}$$

Plocha smykové výztuže

$$A_{sw} = n \cdot \pi \cdot (\phi/2)^2 = 4 \cdot 3,142 \cdot (0,008/2)^2 = 0,000201\text{m}^2$$

$$V_{Rd,s} = A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}/s_t = 0,000201 \cdot 0,9 \cdot 550 \cdot 10^3 / 0,21 = 234,905\text{kN}$$

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed}$$

$$234,905 > 228,350\text{kN} \quad \text{vyhovuje}$$

Minimální únosnost ve smyku

$$v_1 = 0,6 \cdot (1 - f_{ck}/250) = 0,6 \cdot (1 - 30/250) = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta) =$$

$$= 1 \cdot 0,3 \cdot 0,9 \cdot 0,570 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,5 \cdot (1 + 1) = 812,592\text{kN}$$

$$V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$$

$$812,592 > 234,905\text{kN} \quad \text{platí předchozí posudek}$$

**Konstrukční zásady**

Minimální stupeň vyztužení smykovou výztuží

$$\rho_{sw} = A_{sw}/s_t * b_w * \sin \alpha = 0,000201/0,21 * 0,3 * 1 = 0,003191 \text{m}^2$$

$$\rho_{sw,min} = 0,08 * f_{ck}^{0,5} * f_{yk} = 0,08 * 30^{0,5} * 550 = 0,000797 \text{m}^2$$

$$\rho_{sw} \geq \rho_{sw,min}$$

$$0,003191 > 0,000797 \text{m}^2 \quad \text{vyhovuje}$$

Maximální vzdálenost mezi větvemi třmínků

$$s_{t,max} = 0,75 * d = 0,75 * 0,570 = 0,428 \text{m}$$

$$s_t = (b - 2 * c_{nom} + \phi_{tr}) / (n - 1) = (0,3 - 2 * 0,025 - 0,008) / (4 - 1) = 0,081 \text{m}$$

$$s_{t,max} \geq s_t$$

$$0,428 > 0,081 \text{m} \quad \text{vyhovuje}$$

**Mezní stav použitelnosti**

Plocha výztuže při dolním okraji

$$A_{sd} = A_{s1} = 0,001963 \text{m}^2$$

Plocha výztuže při horním okraji

$$A_{sh} = 0,000314 \text{m}^2$$

$$A_{s2} = A_{sh} - A_{sd} = -0,001649 \text{m}^2 < 0,000 \text{m}^2 \rightarrow 0,000 \text{m}^2$$

Účinná výška průřezu  $d_1 = 0,563 \text{m}$

Poměr modulů pružnosti

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 200 / 32 = 6,25$$

Průřezové charakteristiky

Plocha  $A_i^I = A_c^I + \alpha_e * A_{s1} = 0,6 * 0,3 + 6,25 * 0,001963 = 0,192272 \text{m}^2$

Poloha n.o.  $a_{gi} = (A_c * a_c + \alpha_e * A_{s1} * d_1) / A_i^I =$   
 $= (0,6 * 0,3 * 0,3 + 6,25 * 0,001963 * 0,563) / 0,192272 = 0,317 \text{m}$

Moment setrvačnosti  $I_i^I = I_c^I + A_c^I * (a_{gi} - a_c)^2 + \alpha_e * A_{s1} * (a_{gi} - d_1)^2 =$   
 $= 0,3 * 0,6^3 / 12 + 0,3 * 0,6 * (0,317 - 0,3)^2 + 6,25 * 0,001963 * (0,317 - 0,563)^2 =$   
 $= 0,006192 \text{m}^4$

**Ideální průřez bez trhlin**

Charakteristická hodnoty vnitřních sil

$$N_{Ek} = 0,0 \text{kN}$$

$$M_{Ek} = 263,65 \text{kNm}$$

Výpočet napětí  $\sigma_{c1} = N_{Ek}/A_i^I + M_{Ek} \cdot (h - a_{gi})/I_i^I = 0 + 293,65 \cdot (0,6 - 0,317)/0,006192 = 13433 \text{ kPa}$

$$\sigma_{c1} \geq f_{ctm}$$

$$13,4 > 2,9 \text{ MPa}$$

vzniknou trhliny

### Ideální průřez s trhlinou

Výška oblasti neporušené trhlinami

$$0,5 \cdot b \cdot x^2 + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot x - \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot d_1 = 0$$

$$x = 0,178 \text{ m}$$

Průřezové charakteristiky

Plocha  $A_i^{II} = A_c^{II} + \alpha_e \cdot A_{s1} = 0,6 \cdot 0,178 + 6,25 \cdot 0,001963 = 0,065537 \text{ m}^2$

Poloha n.o.  $a_{gi} = (A_c \cdot a_c + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot d_1)/A_i^{II} =$

$$= (0,3 \cdot 0,178 \cdot 0,178/2 + 6,25 \cdot 0,001963 \cdot 0,563)/0,065537 = 0,177 \text{ m}$$

Moment setrvačnosti  $I_i^{II} = I_c^{II} + A_c^{II} \cdot (a_{gi} - a_c)^2 + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot (a_{gi} - d_1)^2 =$

$$= 0,3 \cdot 0,177^3/12 + 0,3 \cdot 0,177 \cdot (0,177 - 0,178)^2 + 6,25 \cdot 0,001963 \cdot (0,177 - 0,563)^2 = 0,002378 \text{ m}^4$$

Výpočet napětí  $\sigma_{c2} = N_{Ek}/A_i^{II} + M_{Ek} \cdot a_{gi}/I_i^{II} = 0 + 293,65 \cdot 0,177/0,002378 = 21914 \text{ kPa}$

$$\sigma_{Ek,c} = k_1 \cdot f_{ck} = 0,8 \cdot 30 = 24,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c2} \leq \sigma_{Ek,c}$$

$$21,914 < 24,0 \text{ MPa}$$

vyhovuje

$$\sigma_{s1} = \alpha_e \cdot (N_{Ek}/A_i^{II} + M_{Ek} \cdot (d_1 - a_{gi})/I_i^{II}) =$$

$$= 6,25 \cdot (0 + 293,65 \cdot (0,563 - 0,177)/0,002378) = 297125 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{Ek,s} = k_3 \cdot f_{yk} = 0,8 \cdot 550 = 440,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s1} \leq \sigma_{Ek,s}$$

$$297,125 < 440,0 \text{ MPa}$$

vyhovuje

### Omezení trhlín

Souč. zohledňující rozdělení napětí v průřezu před vznikem trhlín a změnu ramene vn. sil

$$k_c = 0,4$$

Souč. vyjadřující účinek nerovnoměrného rozdělení vnitřních rovnovážných napětí

$$k = 0,86$$

Minimální průřezová plocha výztuže

$$A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}/\sigma_s = 0,4 \cdot 0,86 \cdot 2,9 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,6/550 \cdot 10^3 =$$

$$= 0,000163 \text{ m}^2$$

$$A_s \geq A_{s,min}$$

$$0,001963 > 0,000163m^2$$

Kvazi stálá kombinace zatížení

$$M_{Ek,kvazi} = 213,20kNm$$

$$\sigma_{s1} = \alpha_e * M_{Ek} * (d - a_{gi}) / I_i^{II} = 6,25 * 213,20 * (0,563 - 0,177) / 0,002378 =$$

$$= 215,672MPa$$

Maximální šířka trhlin

$$w_{k,max} = 0,4mm$$

Max průměr prutů pro omezení šířky trhlin

$$\phi_s^* = 40mm$$

$$\phi_s = \phi_s^* \frac{f_{ct,eff}}{2,9} * \frac{k_c * h_{cr}}{2 * (h - d)} = \frac{40 * 2,9}{2,9} * \frac{0,4 * 0,6/2}{2 * (0,6 - 0,563)} = 64,0mm$$

Výpočet šířky trhlin

$$h_{c,eff} = \min (2,5 * (h - d); (h - x)/3; h/2 = 2,5 * (0,6 - 0,563); (0,6 - 0,177)/3;$$

$$0,6/2 = 0,094; 0,141; 0,300) = 0,094m$$

$$\rho_{p,eff} = A_{s1} / A_{c,eff} = 0,001963 / 0,094 * 0,6/2 = 0,070$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e * \rho_{p,eff})}{E_s} = \frac{215,672 - 0,4 \frac{2,9}{0,070} (1 + 6,25 * 0,070)}{200 * 10^3}$$

$$= 0,000959$$

$$0,6 * \sigma_s / E_s = 0,6 * 215,672 / 200 * 10^3 = 0,000647$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \geq 0,6 * \sigma_s / E_s$$

$$0,000959 > 0,000647$$

vyhovuje

Max. vzdálenost trhlin

$$s_{r,max} = k_3 * c + k_1 * k_2 * k_4 * \phi / \rho_{p,eff} =$$

$$= 3,4 * 0,025 + 0,8 * 0,5 * 0,425 * 0,025 / 0,070 = 0,146m$$

Šířka trhlin

$$w_k = s_{r,max} * (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,146 * 0,000959 = 0,140mm$$

$$w_{k,max} \geq w_k$$

$$0,4 \geq 0,140mm$$

vyhovuje

**Omezení průhybu**

$$\rho_0 = 10^{-3} * f_{ck}^{0,5} = 10^{-3} * 30^{0,5} = 0,005$$

$$\rho = A_{s1}/b*d = 0,001963/0,3*0,563 = 0,011636$$

$$\rho^i = A_{s2}/b*d = 0,000$$

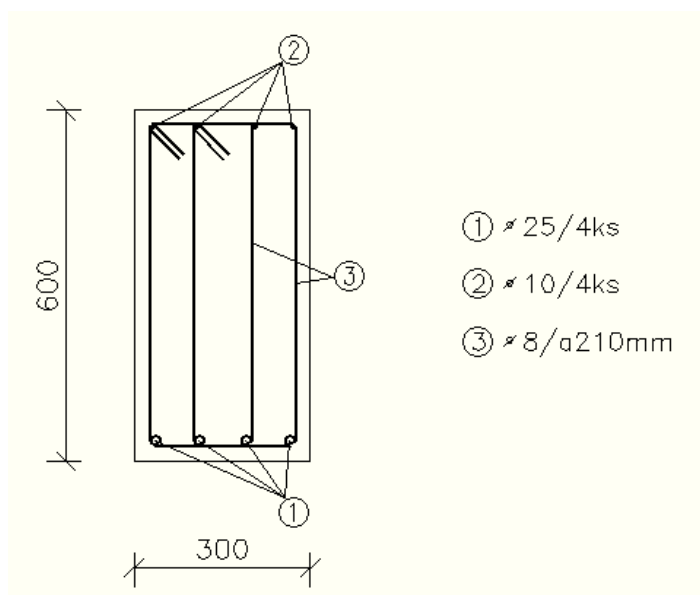
$$\left(\frac{l}{d}\right)_{\text{mezní}} = K \left[ 11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho^i} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\frac{\rho^i}{\rho_0}} \right] =$$

$$= 1,3 * \left[ 11 + 1,5\sqrt{30} \frac{0,005}{0,011636} + \frac{1}{12} \sqrt{30} \sqrt{\frac{0}{0,011636}} \right] = 19,328$$

$$l/d = 8,2/0,563 = 14,578$$

$$(l/d)_{\text{mezní}} \geq l/d$$

$$19,328 > 14,578 \quad \text{vyhovuje, od dalšího výpočtu lze upustit}$$



Obr. č. 82 – návrh vyztužení průvlaku T5

### 4.2.3 Konzola

#### Konzola K1

##### Rozměry konzoly

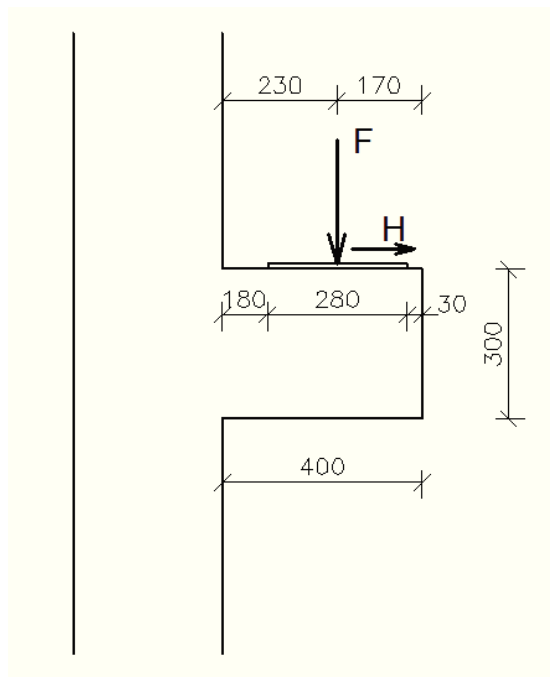
Výška	$h = 300\text{mm}$
Délka	$l = 400\text{mm}$
Šířka	$b = 300\text{mm}$
Vzálenost svislé síly od líce sloupu	$a_c = 230\text{mm}$

##### Rozměry podkladku pod nosník jeřábové dráhy

Šířka	$s = 280\text{mm}$
Výška	$\Delta h = 10\text{mm}$
Vzdálenost od líce sloupu	$a_v = 90\text{mm}$

##### Zatížení

Návrhové síly	$F_{Ed} = 74,4\text{kN}$
	$H = 4,3\text{kN}$
	$H_{Ed} = \max(H; 0,2F_{Ed} = 4,3; 0,2 \cdot 74,4 = 4,3; 14,88) = 14,88\text{kN}$
Síla ve sloupu	$F_a = 570,15\text{kN}$



Obr. č. 83 – rozměry a zatížení konzoly



**Výpočet**

Styčník CCC  $\sigma_{Rd,max} = (1-f_{ck}/250)*f_{cd} = (1-30/250)*30/1,5 = 17,6$

Výška tlačené oblasti  $x_1 = F_{Ed}/\sigma_{Rd,max} * b = 74,4/17,6*0,3 = 14,1\text{mm}$

Rameno vnější síly  $a = a_c + 0,5x_1 + H_{Ed}*(d' + \Delta h)/F_{Ed} = 230 + 0,5*14,1 + 14,88*(40+10)/74,4 = 247,0\text{mm}$

Výška tlačené oblasti  $y_1 = d*(d^2*2x_1*(a+0,2*(d'+\Delta h)))^{0,5} = 260*(260^2*2*14,1*(247,0+0,2*(40+10)))^{0,5} = 14,3\text{mm}$

Rameno vnitřních sil  $z = d - 0,5*y_1 = 260 - 0,5*14,3 = 252,8\text{mm}$

Hlavní tahová síla  $F_t = H_{Ed} + F_{Ed}*a/z = 14,88 + 74,4*247/252,8 = 87,6\text{kN}$

**Hlavní tahová výztuž**

Nutná plocha  $A_{s,nut} = F_t/f_{yd} = 87,6/550*10^3/1,15 = 0,000183\text{m}^2$

Návrh  $\phi = 10\text{mm}$

$n = 4\text{ks}$

$A_s = n*\pi*r^2 = 4*3,142*(0,010/2)^2 = 0,000314\text{m}^2$

$A_s \geq A_{s,nut}$

$0,000314 > 0,000183\text{m}^2$

vyhovuje

**Kotevní délka**

$f_{ctd} = \alpha_{ct}*f_{ctk;0,05}/\gamma_c = 1*2,0/1,5 = 1,333$

$f_{bd} = 2,25*\eta_1*\eta_2*f_{ctd} = 2,25*1*1*1,333 = 3\text{MPa}$

$l_{b,rqd} = (\phi/4)*f_{yd}/f_{bd} = (10/4)*550/1,15/3,0 = 0,399\text{m}$

$l_b = 0,400\text{m}$

$l_{b,min} = \max(0,3*l_{b,rqd}; 10\phi; 0,1) = 0,3*0,399; 10*0,008; 0,1 = 0,12;$   
 $0,1; 0,1) = 0,12\text{m}$

$l_b \geq l_{b,rqd}$

$0,400\text{m} > 0,12\text{m}$

vyhovuje

**Návrh svislých třmínků**

$\beta = s/2*d = 280/2*260 = 0,538$

Návrhová síla  $F = \beta*F_{Ed} = 0,538*74,4 = 40,1\text{kN}$

Nutná plocha  $A_{sv,nut,av} = F/f_{yd} = 40,1/550*10^3/1,15 = 0,000084\text{m}^2$

Návrh  $\phi = 10\text{mm}$

$n = 2\text{ks (2-střížné)}$

$A_s = 2*n*\pi*r^2 = 2*2*3,142*(0,01/2)^2 = 0,000314\text{m}^2$

$$A_{s,av} \geq A_{s,nut}$$

$$0,000314 > 0,000084\text{m}^2$$

vyhovuje

Třmínky rozmístíme do oblasti  $0,75a_v$ .

### Konstrukční ortogonální výztuž na příčné tahy

Příčný tah ve vzpěře  $2T = 0,44 \cdot F_a = 0,44 \cdot 570,15 = 250,9 \text{ kN}$

Sklon vzpěry  $\Theta = \sin(F_{Ed}/F_a)^{-1} = \sin(74,4/570,15)^{-1} = 7,5^\circ$

### Přídavné svislé třmínky

Svislé síly  $F_{sv} = \cos\Theta \cdot 2T = \cos(7,5^\circ) \cdot 250,9 = 248,7 \text{ kN}$

Nutná plocha  $A_{sv,nut,přid} = F_{sv}/f_{yd} = 248,7/550 \cdot 10^3/1,15 = 0,000520\text{m}^2$

Odpočet plochy od třmínků

$$A_{sv,nut,skut} = A_{sv,nut,přid} + A_{sv,nut,av} - A_{s,av} =$$

$$= 0,000520 + 0,000084 - 0,000314 = 0,000290\text{m}^2$$

Návrh

$$\phi = 10\text{mm}$$

$$n = 2\text{ks (2-střížné)}$$

$$A_s = 2 \cdot n \cdot \pi \cdot r^2 = 2 \cdot 4 \cdot 3,142 \cdot (0,008/2)^2 = 0,000314\text{m}^2$$

$$A_s \geq A_{s,nut,skut}$$

$$0,000314 > 0,000290\text{m}^2$$

vyhovuje

### Přídavné vodorovné třmínky

Vodorovné síly  $F_{vo} = \sin\Theta \cdot 2T = \sin(7,5^\circ) \cdot 250,9 = 32,7 \text{ kN}$

Nutná plocha  $A_{sv,nut} = F_{vo}/f_{yd} = 32,7/550 \cdot 10^3/1,15 = 0,000068\text{m}^2$

Návrh

$$\phi = 6\text{mm}$$

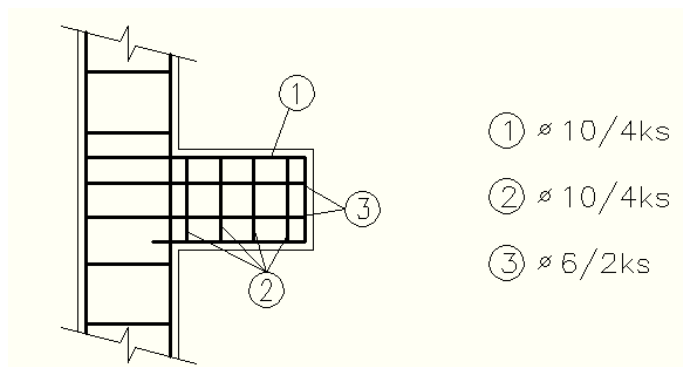
$$n = 2\text{ks (2-střížné)}$$

$$A_s = 2 \cdot n \cdot \pi \cdot r^2 = 2 \cdot 2 \cdot 3,142 \cdot (0,006/2)^2 = 0,000113\text{m}^2$$

$$A_s \geq A_{s,nut}$$

$$0,000113 > 0,000068\text{m}^2$$

vyhovuje



Obr. č. 83 – návrh vyztužení konzoly K1

#### 4.2.4 Sloup

##### Sloup S3

Rozměry	$h = 0,3\text{m}$
	$b = 0,3\text{m}$
Max. vnitřní síly	$M_{\text{Ed,max}} = 83,29\text{kNm}$
	$N_{\text{Ed,přisl.}} = 349,94\text{kN}$
	$N_{\text{Ed,max}} = 570,15\text{kN}$
	$M_{\text{Ed,přisl.}} = 58,31\text{kNm}$
Nominální krytí výztuže	
$c_{\text{nom}} = 25\text{mm}$	

##### Mezní stav únosnosti

##### Vzpěrná únosnost

Poměrná normálová síla

$$n = N_{\text{Ed}}/A_c \cdot f_{\text{cd}} = 570,15/(0,3 \cdot 0,3 \cdot 30/1,5) = 0,317$$

Součinitele

$$A = 0,7$$

$$B = 1,1$$

$$C = 0,7$$

Limitní štíhlost

$$\lambda_{\text{lim}} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C / n^{0,5} = 20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7 / 0,317^{0,5} = 19,154$$

Délka prvku

$$l = 6,90\text{m}$$

Účinná délka

$$l_0 = 0,7 \cdot l = 0,7 \cdot 6,90 = 4,830\text{m}$$

Štíhlost

$$\lambda = l_0 \cdot 12^{0,5} / h = 4,830 \cdot 12^{0,5} / 0,3 = 55,772$$

$$\lambda \geq \lambda_{\text{lim}}$$

$$55,772 < 11,952$$

nevyhovuje, nutno dále posoudit

##### Metoda jmenovité křivosti

Hodnoty vnitřních sil od kvazistálého zatížení

$$M_{\text{Ed,qp}} = 13,52\text{kNm}$$

$$N_{\text{Ed,qp}} = 260,24\text{kN}$$

Výstřednost

$$e_i = l_0/400 = 6,90/400 = 0,012\text{m}$$

Ohybový moment zahrnující účinky imperfekcí

$$M_{0\text{Ed}} = M_{\text{Ed1}} + N_{\text{Ed}} \cdot e_i = 83,29 + 570,15 \cdot 0,012 = 90,175\text{kNm}$$

Moment druhého řádu

Předpokládané vyztužení 1,2% plochy průřezu

$$\omega = A_s \cdot f_{yd} / A_c \cdot f_{cd} = 0,012 \cdot 550 / 1,15 / 0,3^2 \cdot 30 / 1,5 = 3,188$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 3,188 = 4,188$$

Poměrná normálová síla

$$n = N_{Ed} / (A_c \cdot f_{cd}) = 570,15 / (0,3^2 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,5) = 0,317$$

$$n_{bal} = 0,4$$

Opravný součinitel  $K_r = (n_u - n) / (n_u - n_{bal}) = (4,188 - 0,317) / (4,188 - 0,4) = 1,022 > 1 \rightarrow K_r = 1$

$$\beta = 0,35 + f_{ck} / 200 - \lambda / 150 = 0,35 + 30 / 200 - 55,772 / 150 = 0,128$$

$$\sigma_c = N_{Ed,qp} / A_c = 260,24 \cdot 10^{-3} / 0,3^2 = 2,892 \text{ MPa}$$

$$0,45 f_{ck(cube)} = 0,45 \cdot 37 = 16,650 \text{ MPa}$$

$$0,45 f_{ck(cyl)} \geq \sigma_c$$

$$16,65 > 2,892 \text{ MPa}$$

lineární dotvarování

Uvažujeme vnitřní prostředí;  $t_0 = 28$  dní; třída cementu N

Náhradní rozměr průřezu

$$h_0 = 2A_c / u = 2 \cdot 0,3^2 / 4 \cdot 0,3 = 0,150 \text{ m}$$

Konečná hodnota součinitele dotvarování (z grafu)

$$\varphi(\infty, t_0) = 2,2$$

Efektivní hodnota součinitele dotvarování

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) \cdot M_{Ed,qp} / M_{Ed} = 2,2 \cdot 13,52 / 83,29 = 0,357$$

Součinitel zohledňující dotvarování

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} = 1 + 0,128 \cdot 0,357 = 1,046 > 1$$

$$1/r_0 = f_{yd} / E_s / (0,45 \cdot d) = 550 / 1,15 / 200 \cdot 10^3 / (0,45 \cdot 0,263) = 0,020$$

$$1/r = K_r \cdot K_\varphi \cdot 1/r_0 = 1 \cdot 1,046 \cdot 0,020 = 0,022$$

Moment druhého řádu

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = N_{Ed} \cdot (1/r) \cdot l_0^2 / c = 570,15 \cdot 0,022 \cdot 4,83^2 / 10 = 28,61 \text{ kNm}$$

Výsledný návrhový moment

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = 90,18 + 28,61 = \underline{118,79 \text{ kNm}}$$

**Návrh**

$$\phi = 22 \text{ mm}$$

$$n = 4 \text{ ks}$$

Plocha výztuže

$$A_{s1} = A_{s2} = 2 \cdot \pi \cdot r^2 = 2 \cdot \pi \cdot (0,022/2)^2 = 0,000760 \text{ m}^2$$

Síla ve výztuži

$$F_{s1} = F_{s2} = A_{s1/2} \cdot f_{yd} = 0,000760 \cdot 550 \cdot 10^3 / 1,15 = 363,605 \text{ kN}$$

Vzdálenost výztuže od středu průřezu

$$z_{s1} = z_{s2} = h/2 - c_{nom} - r = 0,3 - 0,025 - 0,022/2 = 0,114 \text{ m}$$

Účinná výška průřezu

$$d = h - c_{\text{nom}} - r = 0,3 - 0,025 - 0,022/2 = 0,264\text{m}$$

$$d_2 = c_{\text{nom}} + r = 0,025 + 0,022/2 = 0,036\text{m}$$

### Konstrukční zásady

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,\text{min}} = 0,1 \cdot N_{\text{Ed}} / f_{yd} = 0,1 \cdot 570,15 / 550 \cdot 10^3 / 1,15 = 0,000119\text{m}^2$$

$$A_{s,\text{max}} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,3^2 = 0,003600\text{m}^2$$

$$A_{s,\text{min}} \leq A_s \leq A_{s,\text{max}}$$

$$0,000119 < 0,001521 < 0,003600\text{m}^2 \quad \text{vyhovuje}$$

### Interakční diagram

Bod 0: Teoretické plné využití průřezu v tlaku

$$F_c = \lambda \cdot b \cdot h \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,3^2 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,5 = 1440,00\text{kN}$$

$$N_{\text{Rd},0} = F_c + F_{s1} + F_{s2} = 1440,0 + 2 \cdot 363,605 = 2167,210\text{kN}$$

$$M_{\text{Rd},0} = F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2 = 363,605 \cdot 0,114 - 363,605 \cdot 0,114 = 0,00\text{kNm}$$

Bod 1: Tlačená oblast  $x=d$ ; N.O. prochází těžištěm výztuže

$$F_c = \lambda \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,3 \cdot 0,264 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,5 = 1267,20\text{kN}$$

$$N_{\text{Rd},1} = F_c + F_{s2} = 1267,20 + 363,605 = 1630,805\text{kN}$$

$$M_{\text{Rd},1} = F_c \cdot (0,5 \cdot h - 0,4 \cdot d) + F_{s2} \cdot z_2 = 1267,20 \cdot (0,15 - 0,4 \cdot 0,264) + 363,605 \cdot 0,114 = 97,715\text{kNm}$$

Bod 2: Rozhraní mezi tlakovým porušením betonu a tahovým porušením oceli

$$x = 700 \cdot d / (700 + f_{yd}) = 700 \cdot 0,264 / (700 + 550 / 1,15) = 0,157\text{m}$$

$$F_c = \lambda \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,3 \cdot 0,157 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,5 = 752,838\text{kN}$$

$$N_{\text{Rd},2} = F_c + F_{s2} - F_{s1} = 752,838 + 363,605 - 363,605 = 752,838\text{kN}$$

$$M_{\text{Rd},2} = F_c \cdot (0,5 \cdot h - 0,4 \cdot x) + F_{s1} \cdot z_1 + F_{s2} \cdot z_2 = 752,838 \cdot (0,15 - 0,4 \cdot 0,157) + 363,605 \cdot 0,114 + 363,605 \cdot 0,114 = 148,597\text{kNm}$$

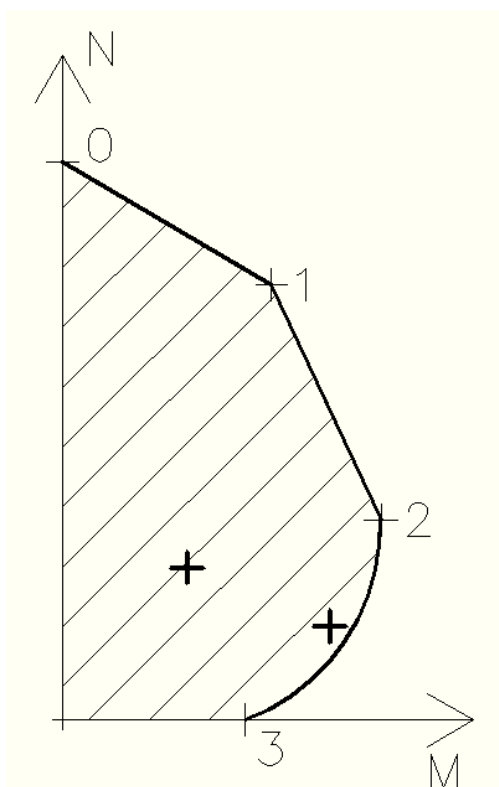
Bod 3: Prostý ohyb

$$x = F_{s1} / (\lambda \cdot b \cdot f_{cd}) = 363,605 / (0,8 \cdot 0,3 \cdot 30 \cdot 10^3 / 1,5) = 0,076\text{m}$$

$$N_{\text{Rd},3} = 0\text{kN}$$

$$M_{\text{Rd},3} = F_{s1} \cdot (d - 0,4x) = 363,605 \cdot (0,264 - 0,4 \cdot 0,076) = 84,974\text{kNm}$$

## Grafický výstup



Obr. č. 84 – grafické posouzení únosnosti sloupu S3

## Numerické posouzení

Malá výstřednost tlačené síly

Rovnice přímky mezi body 1 a 2

$$y = k \cdot x + q$$

$$N_{Rd,1} = M_{Rd,1} \cdot k + q$$

$$N_{Rd,2} = M_{Rd,2} \cdot k + q$$

$$k = (N_{Rd,2} - N_{Rd,1}) / (M_{Rd,2} - M_{Rd,1}) = (752,838 - 1630,805) / (148,6 - 97,92) = -17,255$$

$$q = N_{Rd,2} - M_{Rd,2} \cdot k = 752,838 - 148,6 \cdot (-17,255) = 3316,848$$

$$M_{Rd} = (N_{Rd} - q) / k = (570,15 - 3316,848) / (-17,255) = 125,188 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$125,188 > 58,31 \text{ kNm}$$

vyhovuje

Velká výstřednost tlačené síly

Podmínka rovnováhy sil v průřezu

$$N_{Rd} = F_{s2} + F_c - F_{s1}$$

$$N_{Rd} = F_{s2} + \lambda \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} - F_{s1}$$

$$\begin{aligned}
 x &= (N_{Rd} - F_{s2} + F_{s1}) / \lambda * b * f_{cd} = \\
 &= (349,94 - 363,605 + 363,605) / 0,8 * 0,3 * 30 * 10^3 / 1,5 = 0,073\text{m} \\
 F_c &= \lambda * b * x * f_{cd} = 0,8 * 0,3 * 0,073 * 30 * 10^3 / 1,5 = 349,94\text{kN} \\
 M_{Rd} &= F_{s1} * z_1 + F_{s2} * z_2 + F_c * (0,5 * h - 0,4 * x) = \\
 &= 2 * 363,605 * 0,114 + 349,94 * (0,5 * 0,3 - 0,4 * 0,073) = 125,188\text{kNm} \\
 M_{Rd} &\geq M_{Ed} \\
 125,188 &> 118,789\text{kNm} \quad \text{vyhovuje}
 \end{aligned}$$

Kontrola využití tažené výztuže

$$\begin{aligned}
 x_{lim} &= 700 * d / (700 + f_{yd}) = 700 * 0,264 / (700 + 550 / 1,15) = 0,157\text{m} \\
 x_{lim} &\geq x \\
 0,156 &> 0,073\text{m} \quad \text{vyhovuje}
 \end{aligned}$$

Kontrola využití tlačené výztuže

$$\begin{aligned}
 x_{lim} &= 700 * d_2 / (700 - f_{yd}) = 700 * 0,036 / (700 - 550 / 1,15) = 0,118\text{m} \\
 x &\geq x_{lim} \\
 0,073\text{m} &> 0,118\text{m} \quad \text{výztuž není v tlaku využita}
 \end{aligned}$$

### Příčná výztuž – třmínky

Minimální průměr třmínku

$$\phi_{sw,min} = \max (0,006; \phi/4 = 0,006; 0,022/4 = 0,006; 0,006) = 0,006\text{m}$$

Maximální vzdálenost mezi třmínky

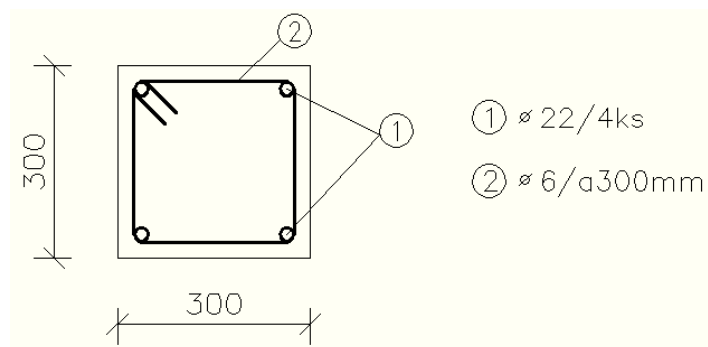
$$s_{w,max} = \min (15 * \phi; 0,3 = 15 * 0,022; 0,3 = 0,330; 0,3) = 0,300\text{m}$$

**Návrh**

$$\begin{aligned}
 \phi_{sw} &= \mathbf{6mm} \\
 s_w &= \mathbf{300mm}
 \end{aligned}$$

**Kotevní délka**

$$\begin{aligned}
 f_{ctd} &= \alpha_{ct} * f_{ctk;0,05} / \gamma_c = 1 * 2,0 / 1,5 = 1,333 \\
 f_{bd} &= 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd} = 2,25 * 1 * 1 * 1,333 = 3\text{MPa} \\
 l_{b,rqd} &= (\phi/4) * f_{yd} / f_{bd} = (22/4) * 550 / 1,15 / 3,0 = 0,877\text{m} \\
 l_b &= 0,880\text{m} \\
 l_{b,min} &= \max (0,3 * l_{b,rqd}; 10\phi; 0,1 = 0,3 * 0,877; 10 * 0,022; 0,1 = 0,263; \\
 &0,22; 0,1) = 0,263\text{m} \\
 l_b &\geq l_{b,rqd} \\
 0,880\text{m} &> 0,229\text{m} \quad \text{vyhovuje}
 \end{aligned}$$



Obr. č. 85 – návrh vyztužení sloupu S3

#### 4.2.5 Základová patka

##### Patka P3

Rozměry

$$h = 0,5\text{m}$$

$$b_x = 1,1\text{m}$$

$$b_y = 1,1\text{m}$$

Max. vnitřní síly

$$M_{Ed,x} = 83,29\text{kNm}$$

$$M_{Ed,y} = 73,70\text{kNm}$$

$$V_{Ed} = 570,15\text{kN}$$

Nominální krytí výztuže

$$c_{nom} = 40\text{mm}$$

##### Mezní stav únosnosti

Únosnost v ohybu

Návrh výztuže ve směru „x“

$$\phi = 10\text{mm}$$

$$n = 9\text{ks}$$

Plocha výztuže

$$A_s = n \cdot \pi \cdot (\phi/2)^2 = 9 \cdot 3,142 \cdot (0,010/2)^2 = 0,000707\text{m}^2$$

Síla ve výztuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 0,000707 \cdot 550 \cdot 10^3 / 1,15 = 338,063\text{kN}$$

Výška tlačené oblasti betonu

$$x = F_s / (0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}) = 338,063 \cdot 1,5 / (0,8 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 30,0 \cdot 10^3) = 0,019\text{m}$$

Účinná výška průřezu

$$d = h - c_{nom} - \phi/2 = 0,5 - 0,040 - 0,010/2 = 0,455\text{m}$$

Posouzení únosnosti

$$M_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4x) = 338,063 \cdot (0,455 - 0,4 \cdot 0,019) = 151,221\text{kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$151,221\text{kNm} > 83,290\text{kNm}$$

vyhovuje



**Konstrukční zásady**

Minimální plocha výztuže

$$\begin{aligned}
 A_{s,min} &= \max (0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b_t \cdot d / f_{yk}; 0,0013 \cdot b_t \cdot d = \\
 &= 0,26 \cdot 2,9 \cdot 1,1 \cdot 0,455 / 550; 0,0013 \cdot 1,1 \cdot 0,455 = \\
 &= 0,000686; 0,000651) = 0,000686 \text{m}^2
 \end{aligned}$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,1 \cdot 1,1 = 0,022000 \text{m}^2$$

$$A_{s,min} \leq A_s \leq A_{s,max}$$

$$0,000686 \text{m}^2 < 0,000707 \text{m}^2 < 0,022000 \text{m}^2 \quad \text{vyhovuje}$$

Omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = x/d = 0,019/0,455 = 0,042$$

$$\xi_{bal} = 700 / (700 + f_{yd}) = 700 / (700 + 550/1,15) = 0,594$$

$$\xi_{bal} \geq \xi$$

$$0,594 > 0,042 \quad \text{vyhovuje}$$

Maximální osová vzdálenost prutů

$$s_{o,max} = \min (2h; 0,250 = 2 \cdot 0,500; 0,250 = 1,000; 0,250) = 0,250 \text{m}$$

$$s_o = (b - 2c_{nom} - \phi) / (n - 1) = (1,1 - 2 \cdot 0,040 - 0,010) / (9 - 1) = 0,126 \text{m}$$

$$s_{o,max} \geq s_o$$

$$0,250 \text{m} > 0,126 \text{m} \quad \text{vyhovuje}$$

Minimální světlá vzdálenost mezi pruty

$$s_s = s_o - \phi = 0,126 - 0,010 = 0,116 \text{m}$$

$$\begin{aligned}
 s_{s,min} &= \max (k_1 \cdot \phi; d_g + k_2; 0,020 = 1 \cdot 0,010; 0,016 + 0,005; 0,020 = \\
 &= 0,020; 0,021; 0,020) = 0,021 \text{m}
 \end{aligned}$$

$$s_s \geq s_{s,min}$$

$$0,116 \text{m} > 0,021 \text{m} \quad \text{vyhovuje}$$

**Kotevní délka**

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0,05} / \gamma_c = 1 \cdot 2,0 / 1,5 = 1,333$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,333 = 3 \text{MPa}$$

$$l_{b,rqd} = (\phi/4) \cdot f_{yd} / f_{bd} = (10/4) \cdot 550 / 1,15 / 3,0 = 0,399 \text{m}$$

$$l_b = 0,400 \text{m}$$

$$\begin{aligned}
 l_{b,min} &= \max (0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10\phi; 0,1 = 0,3 \cdot 0,399; 10 \cdot 0,010; 0,1 = 0,120; \\
 &0,1; 0,1) = 0,120 \text{m}
 \end{aligned}$$

$$l_b \geq l_{b,rqd}$$

$$0,400 \text{m} > 0,120 \text{m} \quad \text{vyhovuje}$$

**Návrh výztuže ve směru „y“**

$$\phi = 10\text{mm}$$

$$n = 9\text{ks}$$

$$\text{Plocha výztuže} \quad A_s = n \cdot \pi \cdot (\phi/2)^2 = 9 \cdot 3,142 \cdot (0,010/2)^2 = 0,000707\text{m}^2$$

$$\text{Síla ve výztuži} \quad F_s = A_s \cdot f_{yd} = 0,000707 \cdot 550 \cdot 10^3 / 1,15 = 338,063\text{kN}$$

Výška tlačené oblasti betonu

$$x = F_s / (0,8 \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}) = 338,063 \cdot 1,5 / (0,8 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 30,0 \cdot 10^3) = 0,019\text{m}$$

Účinná výška průřezu

$$d = h - c_{\text{nom}} - \phi_x - \phi_y / 2 = 0,5 - 0,040 - 0,010 - 0,010 / 2 = 0,445\text{m}$$

$$\text{Posouzení únosnosti} \quad M_{Rd} = F_s \cdot (d - 0,4x) = 338,063 \cdot (0,445 - 0,4 \cdot 0,019) = 147,840\text{kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$147,840\text{kNm} > 73,700\text{kNm}$$

vyhovuje

**Konstrukční zásady**

Minimální plocha výztuže

$$\begin{aligned} A_{s,\min} &= \max(0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b_t \cdot d / f_{yk}; 0,0013 \cdot b_t \cdot d = \\ &= 0,26 \cdot 2,9 \cdot 1,1 \cdot 0,445 / 550; 0,0013 \cdot 1,1 \cdot 0,445 = \\ &= 0,000671; 0,000636) = 0,000671\text{m}^2 \end{aligned}$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s,\max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,5 \cdot 1,1 = 0,022000\text{m}^2$$

$$A_{s,\min} \leq A_s \leq A_{s,\max}$$

$$0,000671\text{m}^2 < 0,000707\text{m}^2 < 0,022000\text{m}^2$$

vyhovuje

Omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = x/d = 0,019/0,445 = 0,043$$

$$\xi_{\text{bal}} = 700 / (700 + f_{yd}) = 700 / (700 + 550 / 1,15) = 0,594$$

$$\xi_{\text{bal}} \geq \xi$$

$$0,594 > 0,043$$

vyhovuje

Maximální osová vzdálenost prutů

$$s_{o,\max} = \min(2h; 0,250 = 2 \cdot 0,500; 0,250 = 1,000; 0,250) = 0,250\text{m}$$

$$s_o = (b - 2c_{\text{nom}} - \phi) / (n - 1) = (1,1 - 2 \cdot 0,040 - 0,010) / (9 - 1) = 0,126\text{m}$$

$$s_{o,\max} \geq s_o$$

$$0,250\text{m} > 0,126\text{m}$$

vyhovuje

Minimální světlá vzdálenost mezi pruty

$$s_s = s_o - \phi = 0,126 - 0,010 = 0,116\text{m}$$

$$s_{s,\min} = \max(k_1 * \phi; d_g + k_2; 0,020) = 1 * 0,010; 0,016 + 0,005; 0,020 = 0,010; 0,021; 0,020 = 0,021\text{m}$$

$$s_s \geq s_{s,\min}$$

$$0,116\text{m} > 0,021\text{m}$$

vyhovuje

**Kotevní délka**

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} * f_{ctk;0,05} / \gamma_c = 1 * 2,0 / 1,5 = 1,333$$

$$f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd} = 2,25 * 1 * 1 * 1,333 = 3\text{MPa}$$

$$l_{b,rqd} = (\phi/4) * f_{yd} / f_{bd} = (10/4) * 550 / 1,15 / 3,0 = 0,399\text{m}$$

$$l_b = 0,400\text{m}$$

$$l_{b,\min} = \max(0,3 * l_{b,rqd}; 10\phi; 0,1) = 0,3 * 0,399; 10 * 0,010; 0,1 = 0,120; 0,1; 0,1 = 0,120\text{m}$$

$$l_b \geq l_{b,rqd}$$

$$0,400\text{m} > 0,120\text{m}$$

vyhovuje

**Posouzení zda navrhnout smykovou výztuž**

Rozměry sloupu  $c_x = c_y = 0,3\text{m}$

Šířka pruhu pro umístění výztuže

$$l_c = \min(b; c + 2h) = 1,1; 0,3 + 2 * 0,5 = 1,1; 1,3 = 1,1\text{m}$$

Nutná plocha výztuže

$$A_{sc,nut} = 2 * l_c * A_{s,x} / (l_x + l_c) = 2 * 1,1 * 0,000707 / (1,1 + 1,1) = 0,000707\text{m}^2$$

$$A_{sc} \geq A_{sc,nut}$$

$$0,000707\text{m}^2 = 0,000707\text{m}^2$$

vyhovuje

Kontrolovaný průřez  $d_{ef} = (d_x + d_y) / 2 = (0,455 + 0,445) / 2 = 0,450\text{m}$

Kritický obvod  $2d = 2 * d_{ef} = 2 * 0,450 = 0,900\text{m}$

Kontrolovaný obvod  $u_1 = 2 * (c_x + c_y) + 2\pi * 2d = 2 * (0,3 + 0,3) + 2 * 3,142 * 0,9 = 6,855\text{m}$

Skutečný obvod  $u_{skut} = 2 * (l_x + l_y) = 2 * (1,1 + 1,1) = 4,4\text{m}$

Posouvající síla  $V_{Ed} = \beta * N_{Ed} / (u_{skut} * d_{ef}) = 1,0 * 570,15 / (4,4 * 0,450) = 287,955\text{kN}$

Únosnost ve smyku při protlačení bez smykové výztuže

$$k = 1 + (200 / d_{ef})^{0,5} = 1 + (200 / 450)^{0,5} = 1,667$$

$$\rho_x = A_{s,x} / b_y * d_x = 0,000707 / 1,1 * 0,455 = 0,001412$$

$$\rho_y = A_{s,y} / b_x * d_y = 0,000707 / 1,1 * 0,445 = 0,001444$$

Stupeň vyztužení  $\rho_1 = (\rho_x * \rho_y)^{0,5} = (0,001412 * 0,001444)^{0,5} = 0,001428$

Návrhová únosnost  $V_{Rd,c} = c_{Rd,c} * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} + k_1 * \sigma_{cp} =$   
 $= 0,18/1,5 * 1,667 * (100 * 0,001428 * 30)^{1/3} + 0 = 324,829 \text{ kN}$   
 $V_{Rd,c} \geq V_{Ed}$   
 $324,829 > 287,955 \text{ kN}$  není nutno navrhnout smykovou výztuž

### Mezní stav použitelnosti

Plocha výztuže při dolním okraji

$$A_{sd} = A_{s1} = 0,000707 \text{ m}^2$$

Plocha výztuže při horním okraji

$$A_{sh} = 0,000000 \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = A_{sh} - A_{sd} = -0,000707 \text{ m}^2 < 0,000 \text{ m}^2 \rightarrow 0,000 \text{ m}^2$$

Účinná výška průřezu

$$d_1 = 0,455 \text{ m}$$

Poměr modulů pružnosti

$$\alpha_e = E_s/E_{cm} = 200/32 = 6,25$$

Průřezové charakteristiky

Plocha  $A_i^I = A_c^I + \alpha_e * A_{s1} = 1,1 * 0,5 + 6,25 * 0,000707 = 0,554418 \text{ m}^2$

Poloha n.o.  $a_{gi} = (A_c * a_c + \alpha_e * A_{s1} * d_1) / A_i^I =$   
 $= (1,1 * 0,5 * 0,25 + 6,25 * 0,000707 * 0,455) / 0,554418 = 0,252 \text{ m}$

Moment setrvačnosti  $I_i^I = I_c^I + A_c^I * (a_{gi} - a_c)^2 + \alpha_e * A_{s1} * (a_{gi} - d_1)^2 =$   
 $= 1,1 * 0,5^3 / 12 + 1,1 * 0,5 * (0,252 - 0,25)^2 + 6,25 * 0,000707 * (0,252 - 0,455)^2$   
 $= 0,011643 \text{ m}^4$

### **Ideální průřez bez trhlin**

Charakteristická hodnoty vnitřních sil

$$N_{Ek} = 0,0 \text{ kN}$$

$$M_{Ek} = 40,85 \text{ kNm}$$

Výpočet napětí  $\sigma_{c1} = N_{Ek} / A_i^I + M_{Ek} * (h - a_{gi}) / I_i^I = 0 + 40,85 * (0,5 - 0,252) / 0,011643 =$   
 $= 684 \text{ kPa}$

$$\sigma_{c1} \leq f_{ctm}$$

$$0,684 < 2,9 \text{ MPa}$$

nevzniknou trhliny

**Omezení trhlin**

Souč. zohledňující rozdělení napětí v průřezu před vznikem trhlin a změnu ramene vn. sil

$$k_c = 0,3$$

Souč. vyjadřující účinek nerovnoměrného rozdělení vnitřních rovnovážných napětí

$$k = 0,86$$

Minimální průřezová plocha výztuže

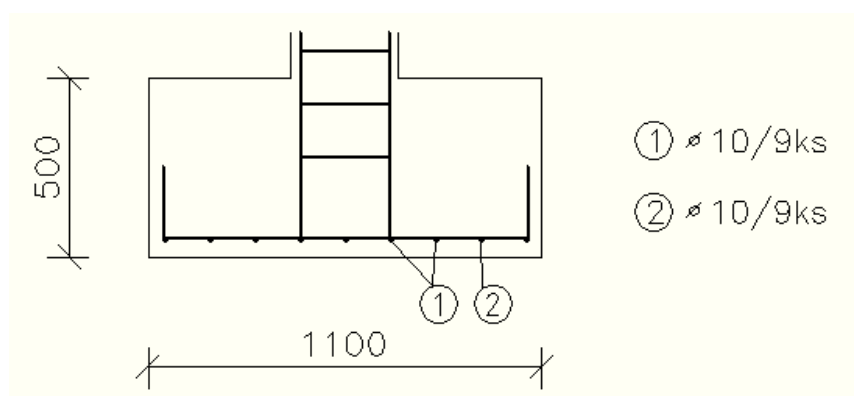
$$A_{s,min} = k_c * k * f_{ct,eff} * A_{ct} / \sigma_s = 0,3 * 0,86 * 2,9 * 10^3 * 1,1 * 0,25 / 550,10^3 =$$

$$= 0,000374 \text{ m}^2$$

$$A_s \geq A_{s,min}$$

$$0,000707 > 0,000374 \text{ m}^2$$

vyhovuje



Obr. č. 86 – návrh vyztužení základové patky P3

#### 4.2.6 Založení objektu

Charakteristika zemin (tab. 19)

	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi_{ef}$ [°]	$c_{ef}$ [kPa]	$\gamma_{su}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_{def}$ [MPa]	$\beta_i$ [m]	$m_i$ [-]
GW	21	40	0	-	250	0,9	0,3
CG	19,5	28	24	12	15	0,62	0,2

GW štěrk dobře zrněný – podsyp

CG jíl štěrkovitý – podloží

$\gamma$  objemová tíha zeminy

$\gamma_{su}$  objemová tíha zeminy pod HPV

$\varphi_{ef}$  úhel vnitřního tření zeminy

$c_{ef}$  soudržnost zeminy

$E_{def}$  modul přetvárnosti zeminy

$E_{oed}$  oedemrický modul přetvárnosti zeminy

$\beta$  součinitel

$m_i$  součinitel strukturního oslabení

$z$  vzdálenost od základové spáry

Rozměry základu  $b_x = b_y = 1,1\text{m}$

$h = 0,5\text{m}$

Zatížení  $V_d = 570,15\text{kN}$

$G = b_x \cdot b_y \cdot h \cdot g = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,5 \cdot 25 = 15,13\text{kN}$

$M_x = 83,29\text{kNm}$

$M_y = 32,54\text{kNm}$

Efektivní rozměry základu

$e_x = M_x / V_d = 83,29 / 570,15 = 0,146\text{m}$

$e_y = M_y / V_d = 32,54 / 570,15 = 0,057\text{m}$

$b_{x,ef} = b_x - 2e_x = 1,1 - 2 \cdot 0,146 = 0,808\text{m}$

$b_{y,ef} = b_y - 2e_y = 1,1 - 2 \cdot 0,057 = 0,986\text{m}$

Hloubka založení  $d = 1,4\text{m}$

Vzdálenost HPV od základu

$d_w = 0,2\text{m}$

Mocnosti vrstev GW – 0,1m ... 1,4~1,5m

CG – 5m ... 1,5~6,5m

**Posouzení únosnosti základové půdy**

Výpočtové charakteristiky zeminy

$$\gamma_d = \gamma/\gamma_1 = 19,5/1 = 19,5 \text{ kN/m}^3$$

$$c_d = c_{ef}/\gamma_{mc} = 24/1,25 = 19,2 \text{ kPa}$$

$$\varphi_d = \varphi_{ef}/\gamma_\varphi = 28/1,25 = 22,4^\circ$$

Součinitele únosnosti

$$k_p = \text{tg}^2(45+0,5\varphi_d) = \text{tg}^2(45+0,5*22,4) = 2,231$$

$$N_d = k_p * e^{\pi * \text{tg}\varphi_d} = 2,231 * e^{\pi * \text{tg}(22,4)} = 8,146$$

$$N_c = (N_d - 1) * \cotg\varphi_d = (8,146 - 1) * \cotg(22,4) = 17,337$$

$$N_b = 2 * (N_d - 1) * \text{tg}\varphi_d = 2 * (8,146 - 1) * \text{tg}(22,4) = 5,891$$

Součinitele tvaru základu

$$s_d = 1 + b_{y,ef} * \sin\varphi_d / b_{x,ef} = 1 + 0,986 * \sin(22,4) / 0,808 = 1,465$$

$$s_c = (s_d * N_d - 1) / (N_d - 1) = (1,465 * 8,146 - 1) / (8,146 - 1) = 1,530$$

$$s_b = 1 - 0,3 * b_{y,ef} / b_{x,ef} = 1 - 0,3 * 0,986 / 0,808 = 0,634$$

Součinitele vlivu šikmosti základové spáry

$$b_d = b_c = 1$$

Součinitele vlivu šikmosti zatížení

$$i_d = i_c = i_b = 1$$

Vliv HPV – Dosah plastické zóny dle Prandtla

$$z_s = \frac{b_{x,ef}}{2} * \frac{\cos\varphi_d}{\cos(45 + \frac{\varphi_d}{2})} * e^{\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\arctg\varphi_d}{2}\right) * \text{tg}\varphi_d} = 0,815 \text{ m}$$

$$\gamma_2 = \gamma_{su} + d_w * (\gamma - \gamma_{su}) / z_s = 12 + 0,2 * (19,5 - 12) / 0,815 = 13,8 \text{ kN/m}^3$$

Posouzení únosnosti základové půdy

$$R = c_d * N_c * s_c * b_c * i_c + \gamma_1 * d * N_d * s_d * b_d * i_d + \gamma_2 * 0,5 * b_{x,ef} * N_b * s_b * b_b * i_b =$$

$$= 19,2 * 17,337 * 1,530 * 1 * 1 + 21 * 1,4 * 8,146 * 1,465 * 1 * 1 +$$

$$+ 13,8 * 0,5 * 0,808 * 5,891 * 0,634 * 1 * 1 = 881,1 \text{ kPa}$$

$$\sigma_d = (V_d + G) / A_{ef} = (570,15 + 15,13) / 0,808 * 0,986 = 734,9 \text{ kPa}$$

$$R \geq \sigma_d$$

$$881,1 > 734,9 \text{ kPa}$$

vyhovuje

**Posouzení sednutí a průhybu základu**

Napětí v základové spáře

$$\sigma_{ol} = F/A - \gamma \cdot d = (570,15 + 15,13)/1,1^2 - 21 \cdot 1,4 = 585,28 \text{ kPa}$$

Součinitele

$$A = (z^2 + b_y^2)^{1/2}$$

$$B = (z^2 + b_x^2)^{1/2}$$

$$C = (z^2 + b_x^2 + b_y^2)^{1/2}$$

$$I_r = \frac{1}{2\pi} * \left[ \arctg\left(\frac{b_x * b_y}{z * C}\right) + \frac{b_x * b_y * z}{C} * \left(\frac{1}{A^2} + \frac{1}{B^2}\right) \right]$$

Napětí pod základem  $\sigma_z = \sigma_{ol} * I_{r,i} * x$ 

x = 4 pro střed základu; x = 2 pro hranu základu

Výpočet sednutí pro střed základu (tab. 20)

z	A	B	C	I <sub>r</sub>	σ <sub>z</sub>	v	γ <sub>i</sub>	σ <sub>or,i</sub>	σ <sub>ol,i</sub>	E <sub>oed</sub>	s
0,1	0,559	0,559	0,784	0,249	452,3	0,3	21,0	456,4	136,9	277,8	0,11
0,2	0,585	0,585	0,803	0,242	440,3	0,2	19,5	456,2	91,2	24,2	1,44
0,3	0,626	0,626	0,834	0,228	414,9	0,2	19,5	458,2	91,6	24,2	1,34
0,4	0,680	0,680	0,875	0,209	379,2	0,2	19,5	460,1	92,0	24,2	1,19
0,5	0,743	0,743	0,925	0,186	338,8	0,2	19,5	462,1	92,4	24,2	1,02
0,6	0,814	0,814	0,982	0,164	298,5	0,2	19,5	464,0	92,8	24,2	0,85
0,7	0,890	0,890	1,046	0,144	261,0	0,2	19,5	466,0	93,2	24,2	0,69
0,8	0,971	0,971	1,116	0,125	227,6	0,2	19,5	467,9	93,6	24,2	0,55
0,9	1,055	1,055	1,190	0,109	198,6	0,2	19,5	469,9	94,0	24,2	0,43
1,0	1,141	1,141	1,267	0,096	173,8	0,2	19,5	471,8	94,4	24,2	0,33
1,1	1,230	1,230	1,347	0,084	152,7	0,2	19,5	473,8	94,8	24,2	0,24
1,2	1,320	1,320	1,430	0,074	134,7	0,2	19,5	475,7	95,1	24,2	0,16
1,3	1,412	1,412	1,515	0,066	119,4	0,2	19,5	477,7	95,5	24,2	0,10
1,4	1,504	1,504	1,602	0,059	106,4	0,2	19,5	479,6	95,9	24,2	0,04
1,5	1,598	1,598	1,690	0,052	95,2	0,2	19,5	481,6	96,3	24,2	0,00
1,6	1,692	1,692	1,779	0,047	85,6	0,2	19,5	483,5	96,7	24,2	-0,05

Sednutí ve středu základu

$$s_s = 8,50 \text{ mm}$$



Výpočet sednutí pro hranu základu (tab. 21)

z	A	B	C	I <sub>r</sub>	σ <sub>z</sub>	v	γ <sub>i</sub>	σ <sub>or,i</sub>	σ <sub>ol,i</sub>	E <sub>oed</sub>	s
0,1	1,105	0,559	1,234	0,249	226,56	0,3	21,0	456,4	136,9	277,8	0,03
0,2	1,118	0,585	1,246	0,245	222,88	0,2	19,5	458,2	91,6	24,2	0,54
0,3	1,140	0,626	1,266	0,236	214,86	0,2	19,5	460,1	92,0	24,2	0,51
0,4	1,170	0,680	1,293	0,224	203,11	0,2	19,5	462,1	92,4	24,2	0,46
0,5	1,208	0,743	1,328	0,208	189,08	0,2	19,5	464,0	92,8	24,2	0,40
0,6	1,253	0,814	1,368	0,192	174,17	0,2	19,5	466,0	93,2	24,2	0,33
0,7	1,304	0,890	1,415	0,175	159,35	0,2	19,5	467,9	93,6	24,2	0,27
0,8	1,360	0,971	1,467	0,160	145,23	0,2	19,5	469,9	94,0	24,2	0,21
0,9	1,421	1,055	1,524	0,145	132,09	0,2	19,5	471,8	94,4	24,2	0,16
1	1,487	1,141	1,585	0,132	120,08	0,2	19,5	473,8	94,8	24,2	0,10
1,1	1,556	1,230	1,65	0,120	109,19	0,2	19,5	475,7	95,1	24,2	0,06
1,2	1,628	1,320	1,718	0,109	99,391	0,2	19,5	477,7	95,5	24,2	0,02
1,3	1,703	1,412	1,79	0,100	90,603	0,2	19,5	479,6	95,9	24,2	-0,02

Sednutí na hraně základu

$$s_h = 3,09\text{mm}$$

Posouzení sednutí základu

$$s_{\text{lim}} = 60\text{mm}$$

$$s_{\text{lim}} \geq s$$

$$60 > 8,50\text{mm}$$

vyhovuje

Posouzení průhybu základů

Osová vzdálenost patek

$$l = 8,2\text{m}$$

$$w = (s_s - s_h)/l = (8,50 - 3,09)/8200 = 0,000659$$

$$w_{\text{lim}} = 0,002$$

$$w_{\text{lim}} \geq w$$

$$0,002 > 0,000659$$

vyhovuje

## **5. Závěr**

Cílem této práce byl statický návrh a posouzení nosné konstrukce administrativní budovy a přilehlé skladové haly ze železobetonu. Pro splnění tohoto úkolu, bylo nutno navrhnout objekt a vytvořit dispozici. K této části byly zhotoveny stavební výkresy. Následoval výpočet zatížení, na který navazoval 2D výpočtový model v programu scia engineer, pro určení maximálních vnitřních sil působících na jednotlivé prvky. Na maximální vnitřní síly byly navrženy a posouzeny tyto prvky: sloupy, průvlaky, základové patky, schodiště, podestové nosníky, podélná ztužidla a konzoly pro nosníky jeřábové dráhy. Tyto železobetonové prvky byly navrženy na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti. Dále byly navrženy nosníky jeřábové dráhy a určena únosnost základové půdy, včetně sednutí a průhybu základů. Po dokončení statického výpočtu byly zhotoveny výkresy výztuže.

Návrh konstrukce, statické posouzení i výkresová dokumentace byly zhotoveny dle zásad, se kterými jsem byl seznámen v průběhu magisterského a bakalářského studia. Pod dohledem vedoucí diplomové práce byla práce doplněna o poznatky z příslušných norem.

Jako možné doplnění diplomové práce se jeví statické posouzení základových pásů, základových překladů a zdiva Porotherm. Také lze staticky vyřešit plošné konstrukce střechy a stropů. Další variantou rozšíření práce by mohlo být posouzení účinků poddolování nebo požární bezpečnost a s tím související požární odolnost konstrukcí.

## 6. Seznam použité literatury

- [1] Procházka J. a kol.: *Navrhování betonových konstrukcí 1, prvky z prostého a železového betonu*, ČBS, Praha, 2006
- [2] Procházka J. a kol.: *Příklady navrhování betonových konstrukcí 1*, ČVUT, Praha, 2007
- [3] Kohoutková A. a kol.: *Betonové konstrukce 1*, ČVUT, Praha, 2005
- [4] Čírtek L.: *Betonové konstrukce I- Modul CS1- Betonové konstrukce prutové*, Studijní opory pro programy s kombinovanou formou studia, Brno, 2005
- [5] Bažant Z. a kol.: *Betonové konstrukce II, Modul M05, Betonové konstrukce montované – část 1*, Studijní opory pro programy s kombinovanou formou studia, Brno, 2006
- [6] Bažant Z. a kol.: *Betonové konstrukce II, Modul M06, Betonové konstrukce montované – část 2*, Studijní opory pro programy s kombinovanou formou studia, Brno, 2006
- [7] Kytmar A.: *Bakalářská práce*, VŠB-TUO, Ostrava, 2012
- [8] Studnička J.: *Ocelové konstrukce*, ČVUT, Praha, 2004
- [9] Macháček J., Studnička J.: *Ocelové konstrukce 2*, ČVUT, Praha, 2005
- [10] Pilgr M.: *Kovové konstrukce, Výpočet jeřábové dráhy pro mostové jeřáby podle ČSN EN 1991-3 a ČSN EN 1993-6*, CERM, Brno, 2012
- [11] Neufert: *Navrhování staveb, 2. České vydání*, Consult invest, Praha, 2000
- [12] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení, objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*, ČNI, Praha, 2004
- [13] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – zatížení sněhem*, ČNI, Praha, 2005
- [14] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – zatížení větrem*, ČNI, Praha, 2005
- [15] ČSN EN 1991-3 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 3: Zatížení od jeřábů a strojního vybavení*, ČNI, Praha, 2004
- [16] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: *Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby*, ČNI, Praha, 2006
- [17] ČSN EN 1997-1 Eurokód 7: *Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla*, ČNI, Praha, 2005

- [18] ČSN EN 731001: *Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy*, ČNI, Praha, 2005
- [19] ČSN EN 1993-6: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 6: Jeřábové dráhy*, ČNI, Praha, 2007

## **7. Seznam příloh a výkresů**

### **Seznam příloh**

- Příloha č. 1 – Statické posouzení podestových nosníků
- Příloha č. 2 – Statické posouzení průvlaku T2
- Příloha č. 3 – Statické posouzení průvlaku T3
- Příloha č. 4 – Statické posouzení průvlaku T4
- Příloha č. 5 – Statické posouzení sloupu S2
- Příloha č. 6 – Statické posouzení základové patky P2
- Příloha č. 7 – Posouzení únosnosti základové půdy, sednutí a průhyb základu P2
- Příloha č. 8 – Podélné ztužení administrativní budovy
- Příloha č. 9 – Statické posouzení základové patky P4
- Příloha č. 10 – Posouzení únosnosti základové půdy, sednutí a průhyb základu P4
- Příloha č. 11 – Podélné ztužení haly

### **Seznam výkresů**

- Výkres č. 1 – Půdorys 1.NP
- Výkres č. 2 – Půdorys 2.NP
- Výkres č. 3 – Půdorys 3.NP
- Výkres č. 4 – Skladba stropu nad 1.NP
- Výkres č. 5 – Skladba stropu nad 2.NP
- Výkres č. 6 – Skladba stropu nad 3.NP
- Výkres č. 7 – Skladba opláštění haly
- Výkres č. 8 – Skladba stropu haly
- Výkres č. 9 – Základy
- Výkres č. 10 – Plochá střecha
- Výkres č. 11 – Řez
- Výkres č. 12 – Pohledy
- Výkres č. 13 – Skladby podlah
- Výkres č. 14 – Výpočet schodiště
- Výkres č. 15 – Výkres výztuže sloupu S1, patky P1
- Výkres č. 16 – Výkres výztuže sloupu S2, patky P2
- Výkres č. 17 – Výkres výztuže sloupu S3, patky P3, konzoly K1
- Výkres č. 18 – Výkres výztuže sloupu S3, patky P4, konzoly K1

- Výkres č. 19 – Výkres výztuže průvlaku T1  
Výkres č. 20 – Výkres výztuže průvlaku T2  
Výkres č. 21 – Výkres výztuže průvlaku T3  
Výkres č. 22 – Výkres výztuže průvlaku T4  
Výkres č. 23 – Výkres výztuže průvlaku T5  
Výkres č. 24 – Výkres výztuže ztužidla Z1  
Výkres č. 25 – Výkres výztuže ztužidla Z2  
Výkres č. 26 – Výkres výztuže schodiště  
Výkres č. 27 – Výkres výztuže podestového nosníku